

缅甸硬玉岩区的硬玉化绿辉石岩*

易晓 施光海** 何明跃

YI Xiao, SHI GuangHai and HE MingYue

中国地质大学(北京), 北京 100083

China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2005-06-09 收稿, 2005-12-02 改回.

YI X, SHI GH and HE MY. 2006. Jadeitized omphacitite from Myanmar jadeite area. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4):971-976

Abstract Omphacitite, a new type of rock found in Myanmar jadeite area, had experienced multi-stage jadeitizations. The rock contains relict omphacites of high TFeO and CaO, but low MgO, and relict pyroxenes even belonging to aegirine-augite series. The omphacite is possibly a production of reaction between jadeitic material and mantle pyroxenite under high P-T conditions, the same stage as or a little later than the main formation of the Myanmar jadeite and associated sodic- to sodic-calcic- amphibole and kosmochlor, which is considered to be the stage-I jadeitization. The precipitation of jadeite filled along omphacite's crack or cleavage due to regional deformation and the formation of less pure jadeite as a reactant of replacement of omphacite by jadeite is regarded as the stage-II jadeitization. The formation of fine jadeite vein crosscutting all minerals and textures is considered as the stage-III jadeitization, and possibly the last one. The texture and microstructure of the omphacitite is indicative of three or more stages of mineralization in this area. Derivation of the jadeitic material is discussed and thought to be more likely related to sediments of subducted slabs.

Key words Omphacite, Omphacitite, Jadeite, Multi-stage mineralization, Replacement, Myanmar

摘 要 绿辉石岩是缅甸硬玉岩区一种新的岩石类型,普遍遭受多期次硬玉化。未发生硬玉化的绿辉石含较高 TFeO 和 CaO,但较低的 MgO,按化学成分分类部分已属霓石-普通辉石系列的中间相。这种绿辉石很可能是硬玉质的流体/熔体交代地幔辉石岩类的产物,与主期大规模硬玉岩的结晶、钠质-钠钙质角闪石边和钠铬辉石的形成同期或稍后,是该区第 I 期的硬玉化。沿绿辉石的解理或裂隙交代并伴有充填的硬玉是在相对拉张的构造背景下形成的,是该区第 II 期的硬玉化。切割早期绿辉石和硬玉的充填硬玉细脉可能是最晚一期的硬玉化。硬玉化绿辉石岩的结构与显微构造特征指示了在缅甸硬玉岩区,至少存在不少于 3 期的硬玉化的交代充填作用。文中讨论了硬玉化物质的可能来源,认为其可能与俯冲板片上的沉积物有密切关系。

关键词 绿辉石; 绿辉石岩; 硬玉; 交代作用; 多期次矿化; 缅甸

中图法分类号 P588.136; P588.32

在已知的硬玉岩产地中,如缅甸西北部帕敢(Parkhan)硬玉岩带(包括 Longkin 和 Tawmaw)(Chhibber, 1934)、日本的 Kotaki 地区(Iwao, 1953)和 Osacho(Kobayashi *et al.*, 1987)、美国加州 San Benito(Coleman, 1961; Radvanec *et al.*, 1998)、俄罗斯的 Polar Urals 和 PayYer 地块(Morkovkino, 1960)、哈萨克斯坦的 Near-Balkash 北部地区(Dobretsov and Ponomareva, 1965)以及危地马拉的 Motagua 断裂

(McBirney *et al.*, 1967)等,缅甸硬玉岩占世界上商业用硬玉岩类(华人称之为翡翠)的 95% 以上。近年来,一种产于缅甸硬玉岩区的黑色质地细腻的被称为“黑色翡翠”或“墨翠”的玉石引起了人们的重视,这种玉石经本文研究,首次被认为是一种硬玉化、含铁较高的绿辉石岩。绿辉石岩是一种较罕见的岩石,在苏鲁-大别山超高压变质带及世界上其它高压变质带的局部偶有出现(Dobrzhinetskaya *et al.*, 2002;

* 国家自然科学基金项目(40221402 和 40234045)资助

第一作者简介: 易晓,男,1983 年生,学士,矿物学与宝石学专业。

** 通讯作者: 施光海, E-mail: shiguanghai@263.net.cn or shigh@cugb.edu.cn

Essene and Fyfe, 1967; Gao and Klemd, 2003; Liu and Ye, 2004; Och *et al.*, 2003; Piepenbreier and Stöckhert, 2001; Tsujimori and Itaya, 1999; Zhang *et al.*, 2000)。经本文调查研究,在缅甸硬玉岩区,这种岩石与硬玉岩密切共生。因此,其结构与化学成分特征将有助于深化对缅甸硬玉岩及其围岩的认识,探讨硬玉岩的成因及相关的地质问题。尽管目前关于硬玉岩的成因,矿物之间的关系,形成期次等方面的认识,已有一定的进展(Harlow and Sorensen, 2005; Shi *et al.*, 2003; 李旭平和张立飞, 2005)。但是,关于硬玉与绿辉石之间的关系及产于绿辉石岩中的硬玉化细脉成因目前还没有相关论文论述。本文围绕缅甸硬玉岩区的硬玉化绿辉石岩开展工作,揭示其岩相学与矿物学特征,并试图以此探讨硬玉岩的成因。

1 地质概况

缅甸硬玉岩位于印度板块的东部那加阿拉干(Naga-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。硬玉岩及相关岩石如钠铬辉石岩、绿辉石岩及钠质-钠钙质闪石岩等,主要呈脉状、块状、透镜状等产于蛇纹岩化超基性岩之中。上述岩石或岩石组合的脉一般呈长几米到上百米,宽数十厘米到几十米,主要由纯硬玉岩组成,其次是钠铬辉石岩以及绿辉石岩。钠质-钠钙质闪石岩常为硬玉的岩脉的反应边,此外为超基性岩。超基性岩呈块状构造,岩石类型有蛇纹岩、含铬铁矿蛇纹岩、铬铁矿块体。超基性岩的围岩主要有以下几类,即蓝闪石片岩相的含蓝闪石片岩和含多硅白云母蓝闪石的石英片岩,以及高角闪岩相的含石榴石斜长角闪岩及斜长角闪岩。矿区地质图可参考施光海等(2001)。

绿辉石岩在缅甸硬玉岩区尽管不是主要的岩石类型,但仍偶可见到,且部分块体的体积可达1m³以上,它们呈块状、抑或呈团块状与硬玉岩、钠质-钠钙质闪石岩或钠铬辉石共生。其形成时期推测与硬玉岩、钠质-钠钙质闪石岩或钠铬辉石等岩石同期或稍晚。

2 岩相学及矿物学

与块状、脉状硬玉岩共生的绿辉石岩常呈致密的黑色块状体,肉眼观察似乎颗粒十分细。在显微镜下(如图1和2),绿辉石颗粒较粗,部分粒径可达10mm以上。但大多数绿辉石已经被一种无色—浅色物相呈网格状交代,而呈孤岛状分布。孤岛状绿辉石则粒径细小,一般小于0.1mm。这种粗粒结构被交代至一定程度在肉眼下才表现出极细粒结构的特征。无色—浅色物相本文研究被证明是硬玉分子含量较高的硬玉。在相对较宽的无色—浅色硬玉脉与深色孤岛状绿辉石之间,是带状分布的浅绿色硬玉,其与硬玉脉间的界线清楚(图3)。在边界上,可见硬玉沿绿辉石的解理或裂

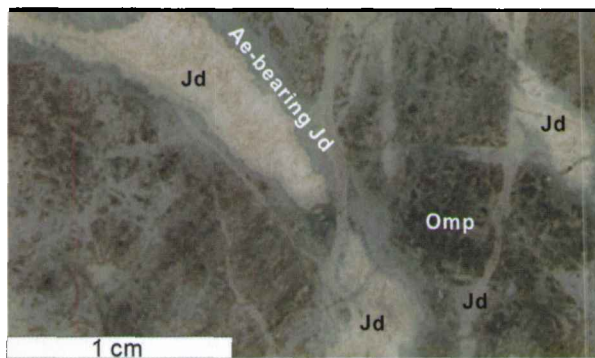


图1 硬玉化绿辉石岩薄片的光学扫描图(—)

Jd-硬玉; Omp-绿辉石, 以下各图同

Fig. 1 Optical scanning image of thin section of jadeitized omphacite(—)

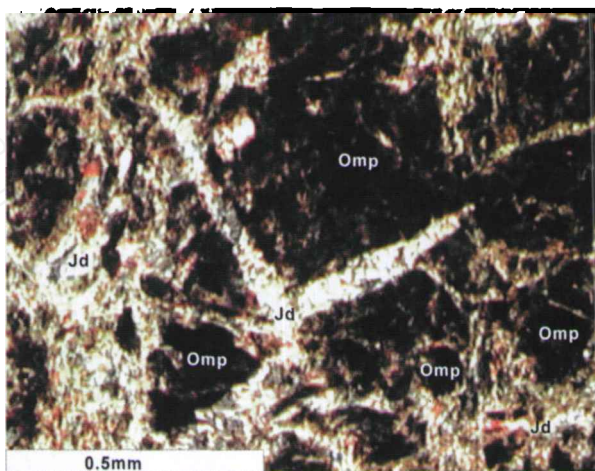


图2 硬玉化绿辉石岩的偏光显微照片(+)

Fig. 2 Photomicrograph of the textures in the jadeitized omphacite(+)

隙分布,反映硬玉的形成要晚于绿辉石。

在硬玉细脉内硬玉自形程度较高,主要为长柱状,其延长方向近平行。绝大多数硬玉的c轴垂直于或近似垂直于脉壁表面,反映这些硬玉的结晶时岩脉处于同构造拉张状态。此外,围绕部分孤岛状的绿辉石,常见有细长柱状硬玉集合体垂直绿辉石边分布。上述结构基本上可以排除形成硬玉的物质是周围绿辉石因压溶作用而成的可能性,其物质来源可能是外来的流体或含流体之熔体。在岩石中可见到较后期的硬玉细脉切割早期的硬玉和绿辉石(图4),说明至少有两期硬玉岩脉。以上结构与显微构造特征综合显示硬玉化细脉形成于拉张的构造环境,且存在不低于两期的构造拉张事件。

矿物成分及电子背散射图像是在中国地质大学电子探针室用EMPA-1600探针仪获得的,详细测试条件参照秦新龙等(2003)。矿物分子式的计算是利用Minpet 2.02程序计算,其中Fe²⁺与Fe³⁺的比值是依据电价平衡计算的。其测

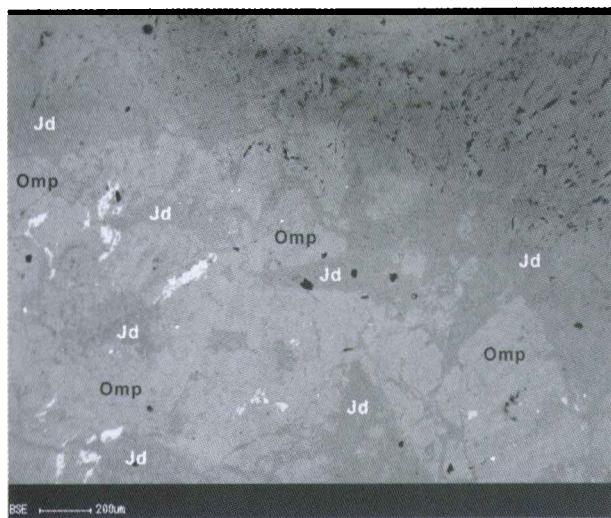


图3 硬玉化绿辉石岩的电子背散射图

Fig. 3 Backscatter electron (BSE) image of jadeitized omphacite

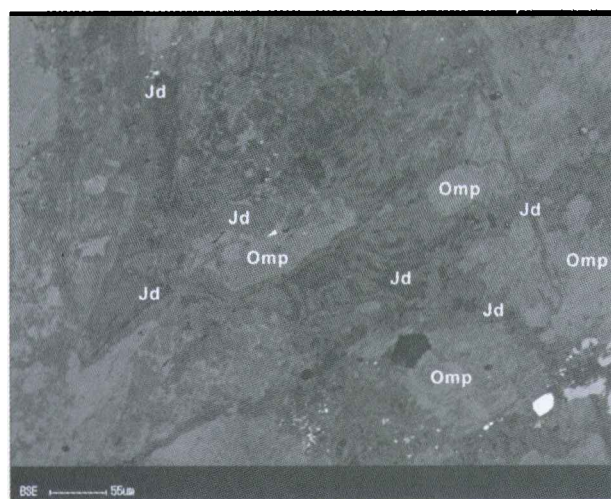


图4 硬玉化绿辉石岩的电子背散射图

Jd-硬玉; Omp-绿辉石

Fig. 4 Backscatter electron (BSE) image of jadeitized omphacite

试数据及计算结果列于表1。

硬玉化细脉中硬玉的Jd含量大于85%，其中CaO、MgO的含量很低，与产于蛇纹岩中的脉状或块状硬玉岩中的硬玉略有不同的是其T FeO的含量略高。界于硬玉岩细脉与绿辉石之间的浅绿色区域亦为硬玉，其Jd含量大于70%，Ae的含量相对于较高，而Di的含量极低。深色孤岛状绿辉石（注：部分成分已不是绿辉石，若严格按Morimoto（1989）辉石命名法，它是霓石-普通辉石系列的中间相）中Jd的含量变化较大，从26%~43%，Ae的含量较高，变化范围从29%到42%，Di含量也较高，从22%到37%。上述三种区域矿物化学成分上明显的区别是：深色绿辉石含较高的Di，而硬玉细脉和浅绿色硬玉几乎不含Di。成分上的差异性反映硬玉

表1 缅甸硬玉岩区内硬玉化的绿辉石岩中辉石的代表性化学成分(%)

Table 1 Representative chemical compositions (%) of pyroxene in jadeitized omphacite-rock from the Myanmar jadeite area

成分	硬玉脉	淡绿区	暗绿辉石	暗绿辉石	暗绿辉石	暗绿辉石	暗绿辉石
SiO ₂	59.85	57.42	55.55	54.32	55.84	55.04	56.03
TiO ₂	0.00	0.55	0.00	0.28	0.12	0.11	0.30
Al ₂ O ₃	21.81	17.50	8.26	6.65	9.15	6.41	10.49
FeO	2.15	7.16	9.97	13.90	11.41	10.95	11.39
Cr ₂ O ₃	0.12	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
MnO	0.03	0.09	0.19	0.29	0.00	0.28	0.00
MgO	0.00	0.86	6.24	5.25	4.98	6.91	4.16
CaO	0.22	3.13	9.59	8.42	7.76	10.64	6.76
Na ₂ O	14.93	13.13	9.65	9.75	10.64	8.40	10.67
K ₂ O	0.17	0.04	0.01	0.15	0.00	0.02	0.07
总量	99.28	100.15	99.46	99.01	99.90	98.76	100.07
阳离子数							
TSi	2.05	2.00	2.00	1.98	1.98	1.99	1.97
TAl	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.03
TFe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al _{M1}	0.88	0.72	0.27	0.33	0.37	0.43	0.26
Ti _{M1}	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe ³⁺ _{M1}	0.06	0.13	0.31	0.30	0.34	0.29	0.42
Fe ²⁺ _{M1}	0.00	0.08	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00
Cr _{M1}	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Mg _{M1}	0.00	0.05	0.37	0.33	0.26	0.22	0.28
Ni _{M1}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg _{M2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺ _{M2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn _{M2}	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Ca _{M2}	0.01	0.12	0.41	0.37	0.30	0.26	0.33
Na _{M2}	0.99	0.89	0.59	0.67	0.73	0.74	0.69
K _{M2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
总数	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99
分子数							
Jd	0.88	0.72	0.27	0.33	0.37	0.43	0.26
Ae	0.06	0.13	0.31	0.30	0.34	0.29	0.42
Ko	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Di	0.00	0.05	0.37	0.33	0.26	0.22	0.28
其他	0.06	0.10	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04
矿物名称	Jd	Jd	Ae-Au	Omp	Omp	Omp	Ae-Au

辉石命名依据 Morimoto (1989)。文中矿物名称缩写参考 Kretz (1983)，其中 Jd-硬玉；Di-透辉石；Omp-绿辉石；Ae-霓石；Au-普通辉石；Ko-钠铬辉石

脉的物质来源更可能来源于外部。浅绿色硬玉成分上和硬玉脉更有亲和性——这与结构和显微组构特征是一致的。

3 讨论

3.1 绿辉石岩的成因

缅甸硬玉岩与世界上其它地区的硬玉岩被认为是含硬玉质的流体或者熔体在俯冲带低温高压的条件下呈脉状或块状结晶充填于蛇纹岩化超基性岩之中(Harlow GE and Olds EP, 1994; Harlow GE and Sorensen SS, 2005; Shi GH *et al.*, 2001)。与硬玉岩相关的钠质钠钙质闪石岩被认为是硬玉质物质在蛇纹岩化超基性岩交代过程的产物,其形成比主期的硬玉岩脉同期或略晚(Shi GH *et al.*, 2003),而钠铬辉石则是硬玉质物质与铬尖晶石类矿物交代的结果(Shi GH *et al.*, 2005a)。这种硬玉质物质应是含水的,因为缅甸硬玉岩和危地马拉硬玉岩中的硬玉都发现含有大量的富含流体的包裹体(Harlow GE, 1986; 施光海等, 2000)。缅甸硬玉岩的绿辉石岩产于帕敢超基性岩区,而超基性区是一套具有蛇绿岩典型特征的岩石组合(施光海等, 2001)。由于其与硬玉岩脉密切相伴,故其很可能是蛇绿岩套内某类岩石经受硬玉化交代的结果,根据绿辉石的富铁含钙的成分特征,我们认为其很有可能是硬玉质的物质在低温高压和有流体参与的条件下,与蛇绿岩带内含铁和钙较高的岩石类型如辉石岩,发生交代的结果。

3.2 缅甸硬玉岩区硬玉化的期次

与世界上许多超大型矿床一样,缅甸翡翠矿床的形成也是多期次的,并伴随着同构造的变形变质作用。根据本次研究的结果,我们认为至少有3期硬玉化作用发生:Ⅰ是主期的充填交代作用;Ⅱ是与变形变质作用同期的交代充填作用;Ⅲ是后期以微裂隙为主的充填作用。

主期的硬玉化主要表现为充填-交代作用,主要形成块状或脉状硬玉岩,交代蛇纹石超镁铁岩形成钠质钠钙质角闪石岩(Shi GH *et al.*, 2003),交代铬尖晶石类形成钠铬辉石岩(Harlow GE and Olds EP, 1987; Shi GH *et al.*, 2005a),以及交代辉石岩形成本文所研究的绿辉石岩。此外,在缅甸硬玉岩区发现的含硬玉的高钙石榴石绿辉石岩据推测可能是基性岩类被硬玉化交代的结果(李平等, 2003)。由于蛇纹岩杂岩的岩石类型较多,因此,可能仍有一些硬玉化的岩石类型还没有被认识。

与变形变质作用同期的交代充填作用主要表现为硬玉交代早期形成的钠铬辉石和绿辉石,并叠加有在拉张细脉中结晶充填。由于缅甸硬玉岩处于实皆(Sagaing)巨型走滑断裂带内(Morley CK, 2004),硬玉岩及相关岩石都发生了十分强烈的变形作用,因之而诱发的重结晶作用十分发育。本文研究中绿辉石被硬玉交代成孤岛状,部分绿辉石的周围是放射状的柱状硬玉晶体,即是该阶段硬玉化最典型的标志。

后期以微裂隙为主的充填作用可能是该区最后一期的硬玉质物质的充填交代作用,这种微裂隙切割了早期的交代充填的硬玉脉。也许在该阶段之前可能还有这两期之外的硬玉化作用。正是上述多期次的硬玉化作用,使得缅甸硬玉岩区与硬玉共生的其它辉石类矿物,如钠铬辉石和绿辉石,成分上不断地逼近硬玉,从而形成了成分与结构具有多样性、世界著名的翡翠大矿床。

3.3 形成硬玉岩及导致产生硬玉化的物质来源

有关硬玉岩的属于哪一大类岩石,依据不同的现象演绎出不同的认识。Coleman (1961)根据硬玉岩的近单矿物之组成,以及特殊局限的产出构造位置,认为硬玉岩是交代岩;Chhibber (1934)认为缅甸硬玉岩的中心有非硬玉的环状结构,并将作为原岩为钠长石岩的变质岩。本区硬玉岩中硬玉有很规则的韵律环带(Shi *et al.*, 2005b),但目前研究尚未发现如Chhibber (1934)所描述的中心异质核,在另一硬玉岩的著名产地——危地马拉,也未见有异质核的硬玉岩(Harlow, 1994)。

如果假设其是变质成因的,那么从矿物学角度上形成硬玉岩的原岩需要:(1)硬玉质的组成,(2)高钠/钾、钙和铝/(镁+铁)的活度,(3)能够从一些原岩中提取硬玉质组分并能够在蛇纹岩中结晶成脉体或块体的介质。在具高活度活动性的钠或硅的交代作用中,含铝的岩石是潜在且合适的可能原岩。然而在本区可供选择原岩非常有限。该区超基性岩的围岩由含多硅白母的蓝闪石片岩、石榴斜长角闪岩、大理岩及透辉石大理岩、石英岩等构成,此外,还有火山岩如玄武岩、安山岩及侵入岩如花岗闪长岩等(施光海等, 2001),不具备上述条件。因此,原岩锁定几乎是不可能的。

缅甸硬玉岩内含有流体包裹体及相关的矿物的交代现象显示硬玉岩的形成可能与热液或熔体有关,如果硬玉岩是流体渗入纯橄辉岩的裂隙中通过直接结晶或与其它物质作用间接产生,可能永远也找不到硬玉岩的交代原岩。

溶解与沉淀机制的研究需要进行从P/T条件、流体组成和流体迁移来探讨硬玉岩的溶解度及其可能的原岩矿物。一些实验结果显示随温度升高,碱-铝硅酸盐中的硅溶解度升高,因此被流体洗刷过的环境常常是硅亏损(Wood, 1987)。一些计算模拟显示了P/T条件在流体通过直立断层时,流体中K, Na, Ca和Mg与岩石中发生交换的作用(Dipple *et al.*, 1990)。流体流向低压环境时富硅而贫Na和K,反之,K、Na和Si都可出现饱和。Na和Si都饱和的流体在具蛇纹岩套组合的构造环境中可产生硬玉岩,主岩蛇纹岩可以促使脱硅并能使流体相对集中于其内的裂隙。实皆走滑断裂作用产生大量的近南北向的裂隙,为热液迁移和充填提供良好的通道或场所。脉动的裂隙控制着新鲜热液的进入,每一次脉动可导致形成具韵律环带的辉石。上述解释似乎很能说明问题,但遗憾的是,缅甸硬玉岩区与硬玉共生的矿物中几乎不含K,即使是钠质-钠钙质角闪石也不例外(Shi

et al., 2003)。

最新的研究结果愈来愈显示硬玉岩的物质来源中可能有俯冲洋壳上部沉积物有关。如危地马拉硬玉岩中的流体包裹体成分的水可能源于海水 (Johnson and Harlow, 1999), 日本硬玉岩中出现高钡的长石, 可能与洋底的膏盐有关 (Morishita, 2005)。该区硬玉包裹体中的甲烷的同位素值显示其可能是俯冲板片中的有机物在俯冲时经过发酵而形成 (Shi *et al.*, 2005b)。最近在缅甸硬玉岩区发现了含钡长石的多固相包裹体, 其成因似乎也与俯冲洋底沉积物有关 (Shi *et al.*, 2006)。

4 结论

缅甸硬玉岩区的绿辉石岩很可能是硬玉质流体/熔体与该区蛇绿岩套中辉石岩发生交代作用的结果, 与大规模的主期硬玉化同期或稍后。之后, 由于构造作用, 硬玉在 Fe 含量较高的绿辉石岩中的因拉张作用产生微裂隙内沉淀并交代绿辉石形成浅绿色的含一定量 Ae 的硬玉, 对绿辉石的结构与成分进行了改造。最后充填的硬玉细脉切割所有物相, 可能代表了最后一期硬玉岩化。以上结果综合显示缅甸硬玉岩区的硬玉化至少不低于三期。

致谢 感谢中国地质大学电子探针室尹京武和郝金华在测试工作中的帮助与支持, 以及审稿人的细心和建设性的评审意见!

References

- Chhibber HL. 1934. The mineral resources of Burma. Macmillan London, 320pp
- Coleman RG. 1961. Jadeite deposit of the Clear Creek area, New Idria district, San Benito County, California. *Journal of Petrology*, 2: 209 - 247
- Dipple GM, Wintsch RP and Andrews MS. 1990. Identification of the scales of differential element mobility in a ductile fault zone. *Journal of Metamorphic Geology*, 8: 645 - 661
- Dobretsov NL and Ponomareva LG. 1965. Comparative characteristics of jadeite and associated rocks from Polar Ural and Near-Balkhash region. *Academia Scientifica USSR* 31: 178 - 243
- Dobrzhinetskaya LF, Schweinehage R, Massonne HJ and Green HW. 2002. Silica precipitates in omphacite from eclogite at Alpe Arami, Switzerland: evidence of deep subduction. *Journal of Metamorphic Geology*, 20: 481 - 492
- Essene EJ and Fyfe WS. 1967. Omphacite in Californian metamorphic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 15: 1 - 23
- Gao J and Klemd R. 2003. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China: geochemical and age constraints. *Lithos*, 66: 1 - 22
- Harlow GE. 1986. Jadeitites and their fluid inclusions from Rio Motagua, Guatemala abstract. *International Mineralogical Association General Meeting*, 14th, Mineralogical Society of America, A119
- Harlow GE. 1994. Jadeitites, albitites and related rocks from the Motagua fault zone, Guatemala. *Journal of Metamorphic Geology*, 12: 49 - 68
- Harlow GE and Olds EP. 1987. Observations on terrestrial ureyite and ureyitic pyroxene. *American Mineralogist*, 72: 126 - 136
- Harlow GE and Sorensen SS. 2005. Jade nephrite and jadeitite and serpentinite: metasomatic connections. *International Geology Review*, 47: 113 - 146
- Iwao S. 1953. Albitite and associated jadeite rock from Kotaki District, Japan; a study in ceramic raw material. *Report of Geological Survey of Japan*, pp153
- Johnson CA and Harlow GE. 1999. Guatemala jadeitites and albitites were formed by deuterium-rich serpentinizing fluids deep within a subduction-channel. *Geology*, 27: 629 - 632
- Kretz R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68: 277 - 279
- Kobayashi S, Miyake H and Shoji T. 1987. A jadeite rock from Oosacho, Okayama Prefecture, Southwestern Japan. *Mineralogical Journal*, 13: 310 - 327
- Li XP and Zhang LF. 2004. Relationship between jadeitite and rodingite in serpentinite complex. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 1477 - 1484 (in Chinese with English abstract)
- Liu J and Ye K. 2004. Transformation of garnet epidote amphibolite to eclogite, western Dabie Mountains, China. *Journal of Metamorphic Geology*, 22: 383 - 394
- McBirney AR, Aoki KI and Bass M. 1967. Eclogite and jadeite from the Motagua Fault zone, Guatemala. *American Mineralogist*, 52: 908 - 918
- Morimoto N. 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist*, 27: 143 - 156
- Morishita T. 2005. Occurrence and chemical composition of barian feldspars in a jadeitite from the Itoigawa-Ohmi district in the Renge high-P/T-type metamorphic belt, Japan. *Mineralogical Magazine*, 69: 39 - 52
- Morkovkino VF. 1960. Jadeitites in the hyperbasites of the Polar Urals. *Izvestia Akademia Nauk USSR, Series Geologia*, 4
- Morley CK. 2004. Nested strike-slip duplexes, and other evidence for Late Cretaceous- Palaeogene transpressional tectonics before and during India Eurasia collision, in Thailand, Myanmar and Malaysia. *Journal of the Geological Society*, 161: 799 - 812
- Och DJ, Leitch EC, Caprarello G and Watanabe T. 2003. Blueschist and eclogite in tectonic melange, Port Macquarie, New South Wales, Australia. *Mineralogical Magazine*, 67: 609 - 624
- Piepenbreier D and Stöckhert B. 2001. Plastic flow of omphacite in eclogites at temperatures below 500 °C: implications for interplate coupling in subduction zones. *International Journal of Earth Sciences*, 90: 197 - 210
- Qin XL, Du YS, Lee HK, Yin JW and Guo XF. 2003. Fe-Ti oxide and Fe-Cu sulfide exsolution in amphibole cumulate xenoliths from granodiorite in Tongling, Anhui Province. *Chinese Science Bulletin*, 48: 2626 - 2634 (in Chinese)
- Radvanec M, Banno S and Ernst WG. 1998. Chemical microstructure of jadeite from Pacheco Pass, California. *American Mineralogist*, 83: 273 - 279
- Shi GH, Cui WY, Liu J and Yu HX. 2001. The petrology of jadeite-bearing serpentinitized peridotite and its country rocks from Northwestern Myanmar (Burma). *Acta Petrologica Sinica*, 17: 483 - 490 (in Chinese with English abstract)
- Shi GH, Cui WY, Tropper P, Wang CQ, Shu GM and Yu HX. 2003. The petrology of a complex sodic and sodic-calcic amphibole association and its implications for the metasomatic processes in the jadeitite area in northwestern Myanmar, formerly Burma. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 145: 355 - 367
- Shi GH, Cui WY, Wang CQ and Zhang WH. 2000. The fluid inclusions in jadeitite from Pharkant area, Myanmar. *Chinese Science Bulletin*, 45: 1896 - 1900 (in Chinese)

- Shi GH, Stöckhert B and Cui WY. 2005a. Kosmochlor and chromian jadeite aggregates from Myanmar area. *Mineralogical Magazine*, 69 (6): 1059 – 1075
- Shi GH, Tropper P, Cui WY, Tan J and Wang CQ. 2005b. Methane CH₄-bearing fluid inclusions in Myanmar jadeites. *Geochemical Journal*, 39: 503 – 516
- Shi GH, *et al.* 2006. Celsian-bearing Multi-phase inclusions (MPI) from Myanmar jadeite area: evidence for petrogenesis of jadeitite associated with subducted oceanic crust sediments? *Contributions to mineralogy and Petrology* (Submitted)
- Takajama M. 1986. Mode of occurrence and significance of jadeite in the Kamukotan metamorphic rocks, Hokkaido, Japan. *Journal of Metamorphic Geology*, 4: 445 – 454
- Tsujimori T and Itaya T. 1999. Blueschist-facies metamorphism during Paleozoic orogeny in southwestern Japan: Phengite KAr ages of blueschist-facies tectonic blocks in a serpentinite melange beneath early Paleozoic Oeyama ophiolite. *The Island Arc*, 8: 190 – 205
- Wood BJ. 1987. Thermodynamics of multicomponent systems containing several solid solutions. In: *Thermodynamic Modeling of Geological Materials: Minerals, Fluids and Melts, Reviews in Mineralogy*, (eds Carmichael ISE & Eugster HP), 17: pp. 7195. *Mineralogical*

Society of America, Washington, DC

- Zhang RY, Liou JG, Yang JS and Yui TF. 2000. Petrochemical constraints for dual origin of garnet peridotites from the Dabie-Sulu UHP terrane, eastern-central China. *Journal of Metamorphic Geology*, 18: 149 – 166

附中文参考文献

- 李平, 崔文元, 施光海. 2003. 缅甸帕敢地区含硬玉富钙榴辉岩的发现. *自然科学进展*, 13: 775 – 779
- 李旭平, 张立飞. 2004. 蛇纹岩中的硬玉岩和异剥钙榴岩. *岩石学报*, 20: 1477 – 1484
- 秦新龙, 杜杨松, 李铨具. 2003. 安徽铜陵角闪石堆晶体中的出溶金属氧化物和硫化物. *科学通报*, 48: 1982 – 1989
- 施光海, 崔文元, 刘晶. 2001. 缅甸含硬玉蛇纹化橄榄岩及其围岩的岩石学研究. *岩石学报*, 17: 483 – 490
- 施光海, 崔文元, 王长秋 张文淮. 2000. 缅甸帕敢地区硬玉岩中流体包裹体. *科学通报*, 45: 1433 – 1437

www.cnki.net