1000-0569/2008/024(05)-1034-40 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

西准噶尔克拉玛依蛇绿混杂岩中的石榴角闪岩*

陈博[1] 朱永峰[1**] 魏少妮[1] 徐新[2]

CHEN Bo[1], ZHU YongFeng[1**], WEI ShaoNi and XU Xin

1. 北京大学地球与空间科学学院, 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871
2. 新疆自然资源与生态环境研究中心, 乌鲁木齐 830000
1. *The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education; School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing* 100871, *China*
2. *Xinjiang Resources and Environment Center, Urumqi* 830000, *China*

2008-03-01 收稿, 2008-05-07 改回.

Chen B, Zhu YF, Wei SN and Xu X. 2008. Garnet amphibolite found in Keramay ophiolitic mélange, western Junggar, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5):1034 – 1040

Abstract Here we report the discovery of garnet amphibolite in the Keramay ophiolitic mélange, western Junggar (north Xinjiang, NW China). The discovered garnet amphibolite, coexisting with amphibolite and greenschist, mainly consists of Tschermakite-magnesio-hornblende and the assemblage of zoisite + Na-rich plagioclase with minor amounts of garnet, clinopyroxene, rutile, apatite, ilmenite, titanite, epidote, chlorite, quartz and zircon. Garnet usually contains abundant apatite, rutile, ilmenite, quartz and zircon inclusions. Studies on the peridotite from Baijiantan ophiolite mélange have demonstrated that the mantle rocks came from depths of > 90km (Zhu and Xu, 2007). Both the Baikouquan and Baijiantan regions belong to the Keramay ophiolite mélange and they are located closely (Ca. 20km). Present petrographic observations demonstrate that the mineral assemblage formed in eclogite phase is garnet clinopyroxene (omphacite?)-rutile-apatite-quartz-zircon. Zoisite-Na-rich-plagioclase-clinopyroxene-ilmenite formed during retrograde metamorphism stage, followed by the formation of Tschermakite-magnesiohornblende epidote titanite in amphibolite facies. The last stage of the retrograde metamorphism was recorded by the epidote-chlorite-quartz in greenschist facies.

Key words Ophiolite; Garnet amphibolite; Keramay; Western Junggar; Xinjiang

摘 要 本文报道在准噶尔地区发现的石榴角闪岩,该岩石产在克拉玛依蛇绿混杂岩带的百口泉地区。石榴角闪岩主要由钙质角闪石、富钠斜长石和黝帘石组成,含少量钛铁矿、绿帘石、绿泥石、榍石、石榴石、普通辉石、金红石、磷灰石、钠长石、石英和锆石。石榴石中常包裹磷灰石、金红石、钛铁矿、石英和锆石。黝帘石 + 富钠斜长石组合中出现少量钙铝榴石残余。百口泉石榴角闪岩中石榴石的化学组成特征以及其中出现的金红石—钛铁矿—磷灰石—石英—锆石包体组合说明,该岩石不是异剥钙榴岩退变质的产物,而是榴辉岩退变的产物(辅助证据包括二辉橄榄岩中发育的辉石出溶结构和辉石塑性变形特征)。百口泉石榴角闪岩至少记录了四个阶段:石榴石—单斜辉石—金红石—磷灰石—石英—锆石组成的阶段Ⅰ(可能为榴辉岩相),普通辉石—钛铁矿—磷灰石—角闪石组成的退变阶段Ⅱ,角闪石—斜长石—榍石—钛铁矿构成的阶段Ⅲ(角闪岩相),以及绿帘石—石英—绿泥石构成的绿片岩相变质阶段Ⅳ。尽管上述演化历史存在一些不确定性,石榴角闪岩的发现为深入研究西准噶尔地区古生代洋壳俯冲带的性质及其演化过程提供了新的物质基础。

关键词 蛇绿岩;石榴角闪岩;克拉玛依;西准噶尔;新疆

中图法分类号 P588.125

---

* 国家科技支撑计划重点项目资助(编号:2006BAB07B08).

第一作者简介:陈博,男,1985 年生,硕士研究生,岩石学、地球化学专业.

** **通讯作者**:朱永峰,教授,E-mail:yfzhu@pku.edu.cn

1 引言

西准噶尔地区广泛出露的唐巴勒、玛依勒、达尔布特、洪古勒楞、克拉玛依等蛇绿岩带对限定该地区的地质演化历史具有重要意义(朱宝清等, 1987; Kwon *et al.*, 1989; 张驰和翟明国, 1990; 肖序常等, 1991; 张驰和黄萱, 1992; 黄建华等, 1995; 徐新, 1998; 徐新等, 2006; 何国琦等, 2007)。这些不同时代的蛇绿岩均受断裂控制,主要以两种形式产出:蛇绿岩构造岩片和蛇绿混杂岩体,并以后者为主。混杂岩的基质以片状蛇纹岩为主,片状凝灰岩和片理化基性熔岩次之,混杂的岩块基本上是蛇绿岩的组分,夹杂蓝闪石片岩、灰岩和上覆的复理石碎屑岩。唐巴勒地区保存了新鲜的蓝片岩,说明该地区经历了低温高压变质作用。对蓝片岩中钠质角闪石的$^{40}Ar/^{39}Ar$定年表明(张立飞,1997),低温高压变质作用发生在458~470Ma。然而,高压变质作用的岩石学记录分布非常局限,除唐巴勒地区出露的蓝片岩外,西准噶尔其它地区未见报道。本文报道在克拉玛依蛇绿混杂岩中发现的石榴角闪岩,抛砖引玉,旨在促进西准噶尔地质演化研究的深入。

2 区域地质

克拉玛依地区分布最广的地层是石炭系火山—沉积岩(图1),从该地层的主要组成单元——酸性凝灰岩中分离出锆石的SHRIMP年龄为328Ma(王瑞,朱永峰,2007)。石炭系地层被侏罗系火山—沉积岩和白垩纪含油砂岩不整合覆盖。最近在该地区侏罗纪碱性玄武岩中发现了岩浆碳酸岩矿物(薛云兴和朱永峰,2007)。在克拉玛依以东的白碱滩—百口泉地区出露一条发育齐全的蛇绿混杂岩带,其顶部与下石炭统太勒古拉组硅泥质及火山灰凝灰质复理石建造呈断裂接触,与蛇绿岩伴生的岩石主要包括枕状玄武岩、放射虫硅质岩、硅质泥岩和火山凝灰岩(徐新等,2006)。最近依据从该蛇绿岩带的硅质岩中分选出来的微体古生物化石,厘定克拉玛依蛇绿岩带形成于早古生代,放射虫硅质岩的形成时代不晚于中奥陶世晚期(何国琦等, 2007)。蛇绿混杂岩的主要组成部分包括地幔岩(尖晶石二辉橄榄岩和少量辉石岩)、蚀变辉长岩、枕状玄武岩和硅质岩。尖晶石二辉橄榄岩主要由橄榄石、单斜辉石、斜方辉石和尖晶石组成,橄榄石和斜方辉石均发生程度不等的蛇纹石化,但尖晶石和单斜辉石保存完好(朱永峰和徐新,2007)。

3 石榴角闪岩的岩石学特征

百口泉石榴角闪岩主要以透镜状(长轴0.1m~1m)产出在角闪岩和绿片岩中。石榴角闪岩主要由角闪石(占岩石

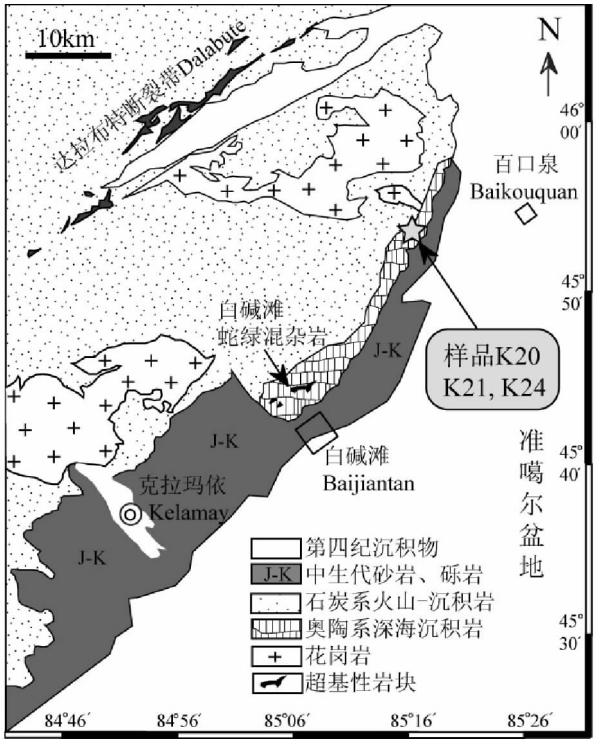


图1 西准噶尔克拉玛依地区地质简图,标明了白碱滩—百口泉地区蛇绿混杂岩露头和石榴角闪岩的采样位置(依据1∶20万地质图以及最新发表的资料编制:徐新等(2006)、朱永峰和徐新(2007)、何国琦等(2007))

Fig. 1 The simplified geological map of Keramay region in western Junggar showing the outcrops of Baijiangtan-Baikouquan ophiolitic mélange and sample location of the garnet amphibolite in Baikouquan.

体积的65%~85%)和斜长石+黝帘石集合体(15%~25%)组成,其中含少量石榴石、绿帘石、绿泥石、钠长石、钛铁矿、金红石、榍石、普通辉石、磷灰石、石英和锆石(图2),局部出现石英—绿帘石细脉。绿帘石和绿泥石多数情况下交代角闪石。榍石中一般保存钛铁矿残余。石榴石主要呈包体出现在角闪石内部(图2e-f),少数情况下观察到粒间石榴石(在角闪石集合体中)。石榴石中存在丰富的包体,包体矿物主要为锆石、磷灰石、钛铁矿、石英和金红石(图2c-d,图3a-c)。存在两类磷灰石,粒间磷灰石颗粒一般粗大,最大可以达到约0.1mm(见图3d),石榴石中包裹的磷灰石一般很小(<0.01mm)。黝帘石+斜长石集合体在偏光显微镜下透光性差(图2)。利用电子显微镜准确地确定这种集合体为黝帘石+富钠斜长石(钠长石-更长石,图3e, f)。

上述矿物组合有可能被误认为蛇绿岩中常见的异剥钙榴岩(因为石榴角闪岩也可以是异剥钙榴岩退变质的产物)。然而,异剥钙榴岩是洋底低温变质的产物,其演化早期阶段不可能出现石英等富SiO_2矿物相。百口泉石榴角闪岩中石

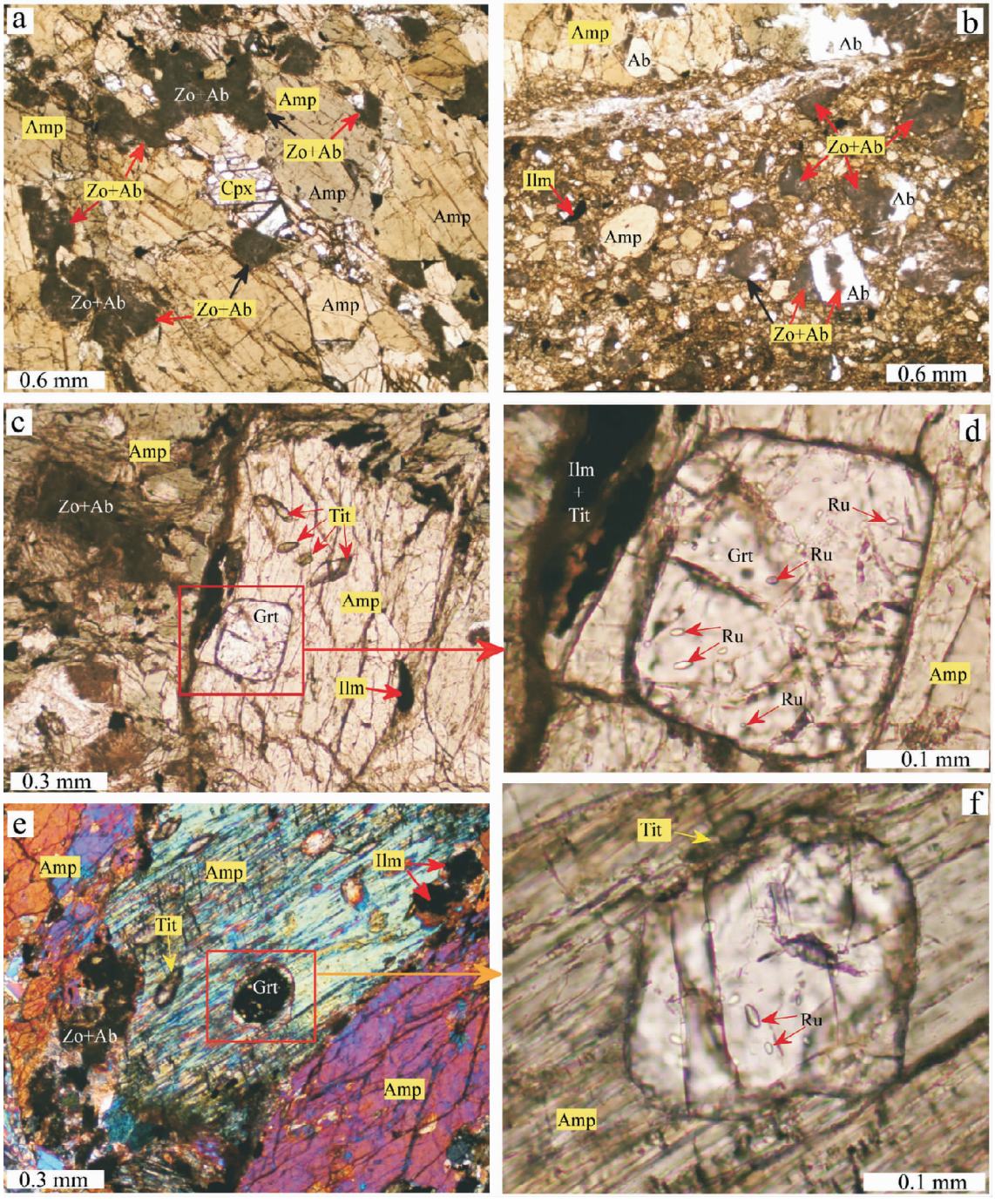


图 2 百口泉石榴角闪岩的显微照片

a-黝帘石 + 斜长石集合体、角闪石和单斜辉石共生,单偏光; b-石榴角闪岩破碎带中发育黝帘石 + 斜长石集合体,单偏光; c-角闪石中的石榴石和榍石包体,角闪石与钛铁矿共生,单偏光; d-图 c 的局部照片,显示石榴石中的金红石和锆石包体,单偏光(该图的背散射电子图像见图 3c); e-角闪石中的石榴石和榍石包体,正交偏光; f-图 e 的局部照片,显示石榴石中的金红石包体,单偏光。Ab-钠长石-更长石; Amp-角闪石; Cpx-单斜辉石; Grt-石榴石; Ilm-钛铁矿; Ru-金红石; Tit-榍石; Zo-黝帘石

Fig. 2 Photos show the characteristics of the garnet amphibolite in Baikouquan region. Ab-plagioclase, Amp-amphibole, Cpx-clinopyroxene, Grt-garnet, Ilm-ilmenite, Ru-Rutile, Tit-Titanite, Zo-zoisite

榴石含大量石英包裹体说明,该体系早期在 SiO_2 有剩余的化学环境中稳定。图 4 显示石榴石中石英包体及其显微激光拉曼光谱。在这个石英中还见到磷灰石包体(磷灰石包体的显微激光拉曼光谱见图 4)。

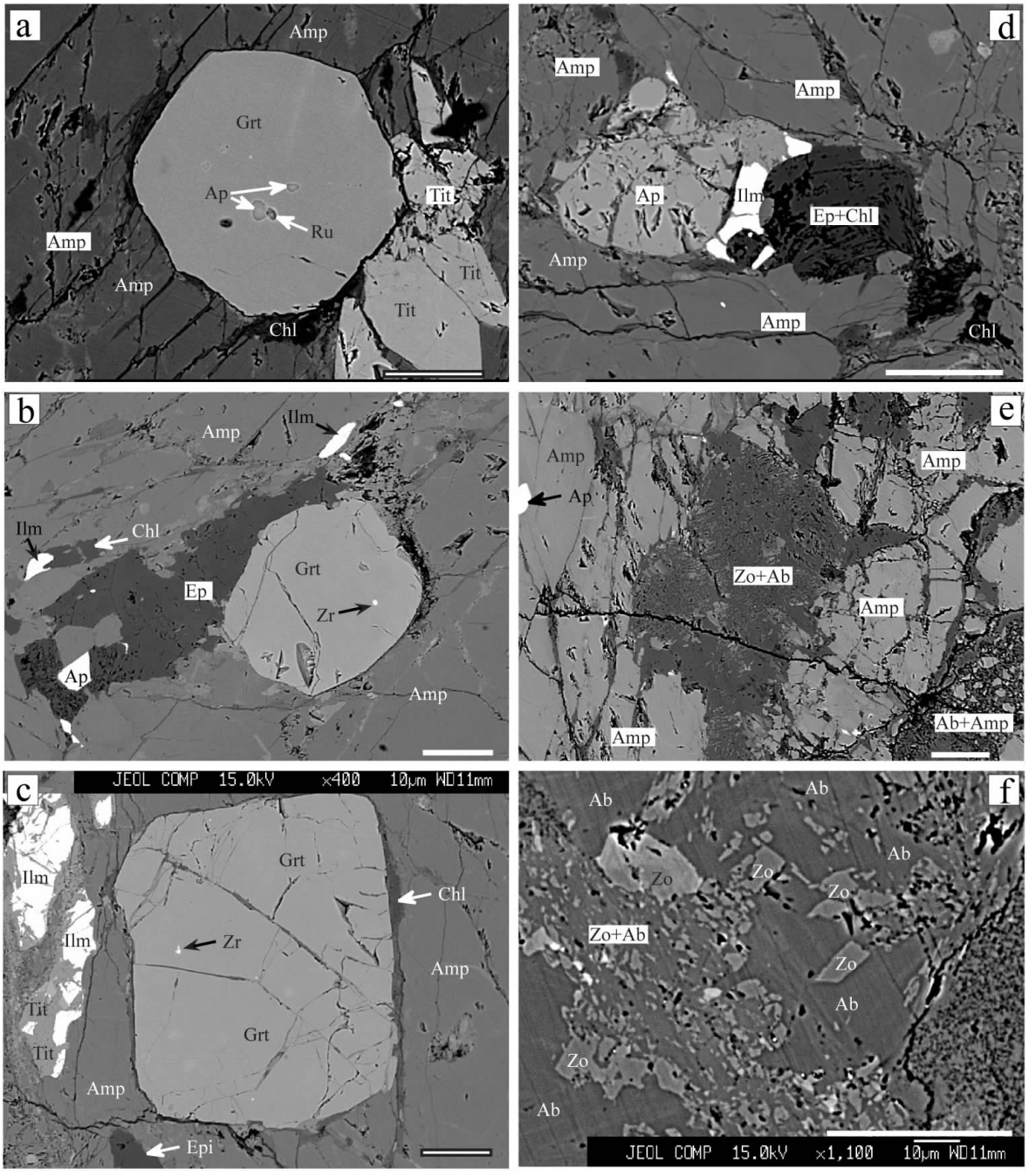


图 3 a-c)百口泉石榴角闪岩中石榴石的背散射(BSE)电子图像,显示石榴石与角闪石、钛铁矿、磷灰石、榍石、绿帘石和绿泥石之间的关系,所有石榴石均含锆石包裹体,有的石榴石含金红石和磷灰石包体; d)角闪石、绿帘石、绿泥石、钛铁矿、磷灰石之间的岩相关系,BSE; e)角闪石中的黝帘石 + 斜长石集合体,BSE; f)图 e 的局部,BSE。Ab-钠长石-更长石(斜长石),Amp-钙质角闪石,Ap-磷灰石,Chl-绿泥石,Cpx-单斜辉石,Ep-绿帘石,Grt-石榴石,Ilm-钛铁矿,Tit-榍石,Zo-黝帘石,Zr-锆石。所有图中的标尺为 40μm

Fig. 3 a-c) BSE images show the characteristics of the garnet amphibolite in Baikouquan region; d) BSE image shows the relationships among amphibole, epidote, chlorite, ilmenite, and apatite; e-f) BSE images show the mineral phases of plagioclase + zoisite assemblage. Ab-plagioclase, Amp-pargasite-edenite, Ap-apatite, Chl-chlorite, Cpx-clinopyroxene, Ep-epidote, Grt-garnet, Ilm-ilmenite, Tit-titanite, Zo-zoisite, Zr -zircon. The scale bar is 40μm for all images

4 矿物化学成分

百口泉石榴角闪岩中石榴石的电子探针分析结果见表1并表示在图5,成分落在 Grs + And-Alm + Spss-Py 三角图解的C区域(图5a,具有与C组榴辉岩类似的化学组成,依据 Coleman *et al.*,1965)。石榴石具有微弱的不规则环带结构,颗粒中心相对富含 Ti 和 Cr,贫 Mn 和 Mg(图5b-c)。这种很弱的分带特征很难对石榴石结晶的 *P-T* 变化趋势提供限定,这里不做进一步讨论。

单斜辉石只在角闪石内部呈残余状态存在,其成分属于普通辉石。斜长石的 An 端元含量在1~20mol.%之间变化。这种富钠斜长石主要与黝帘石共生。角闪石属于钙质角闪石类,在 Leake *et al.* (1997) 钙质角闪石分类图中占据 Tschermakite-Magnesiohornblende 区域($Mg^{\#}$ = 0.5~0.7, Si = 6.2~6.7pfu, Ti = 0.19~0.21pfu, Na = 0.90~1.19pfu)。

表1 百口泉石榴角闪岩中石榴石(核部 Grt-C、边部 Grt-R)、角闪石(Amp)、黝帘石(Zo)和单斜辉石(Cpx)的电子探针分析结果

Table 1 The representative compositions of garnet (core: Grt-C, rim: Grt-R), amphibole (Amp), zoisite (Zo) and clinopyroxene (Cpx) in garnet amphibolite from Baikouquan ophiolitic mélange (EPMA, wt%)

	Grt-C	Grt-C	Grt-C	Grt-C	Grt-C	Grt-C	Grt-R	Grt-R	Grt-R	Amp	Amp	Zo	Zo	Cpx
SiO_2	38.91	38.85	39.03	38.84	38.57	38.72	38.19	38.34	38.34	43.82	43.29	39.97	39.93	53.76
TiO_2	0.09	0.21	0.18	0.19	0.06	0.14	0.13	0.14	0.13	1.87	1.78	0.01	0.03	0.08
Al_2O_3	21.35	20.82	21.18	21.19	21.21	21.19	21.21	21.43	21.31	10.88	11.26	33.67	30.94	1.06
MgO	3.54	3.16	3.47	3.27	3.23	3.27	3.13	3.24	3.18	11.26	11.06	0.01	0.07	10.01
MnO	1.32	1.11	1.36	1.69	2.66	2.29	1.94	1.87	2.00	0.09	0.13	0	0.08	0.18
FeO	25.13	23.16	25.20	25.24	26.01	25.22	25.71	25.79	25.81	16.12	16.34	0.36	2.25	21.38
Cr_2O_3	0	0.03	0	0.03	0.02	0	0	0	0	0.03	0.05	0	0.05	0.02
NiO	0.01	0	0	0.01	0	0	0.00	0.01	0.03	n. a.	n. a.	0.02	0	n. a.
CaO	10.40	13.15	10.13	10.11	8.55	9.37	9.52	9.74	9.53	11.14	11.35	24.41	23.87	11.34
Na_2O	0.02	0.07	0.03	0.02	0.04	0.01	0.05	0.05	0.03	1.74	1.92	0.37	0.29	0.81
K_2O	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0.44	0.44	0	0	0.09
Total	100.77	100.57	100.58	100.59	100.37	100.20	99.89	100.61	100.36	97.39	97.62	98.82	97.51	98.73
O	6	6	6	6	6	6	6	6	6	23	23	12.5	12.5	6
Si	1.513	1.513	1.520	1.515	1.515	1.518	1.506	1.501	1.504	6.445	6.383	3.003	3.070	2.075
Ti	0.003	0.006	0.005	0.006	0.002	0.004	0.004	0.004	0.004	0.207	0.198	0.001	0.002	0.002
Al	0.978	0.956	0.972	0.974	0.981	0.979	0.986	0.989	0.985	1.886	1.956	2.981	2.804	0.048
Mg	0.205	0.184	0.202	0.190	0.189	0.191	0.184	0.189	0.186	2.468	2.431	0.001	0.008	0.576
Mn	0.044	0.036	0.045	0.056	0.088	0.076	0.065	0.062	0.066	0.011	0.017	0	0.005	0.006
Fe	0.817	0.754	0.821	0.823	0.854	0.827	0.848	0.844	0.847	1.982	2.015	0.023	0.145	0.690
Cr	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0.004	0.006	0	0.003	0.001
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n. a.	n. a.	0.006	0	0
Ca	0.433	0.549	0.423	0.422	0.360	0.393	0.402	0.408	0.401	1.755	1.793	1.965	1.966	0.469
Na	0.002	0.005	0.002	0.001	0.003	0.001	0.004	0.003	0.003	0.992	1.091	0.054	0.043	0.061
K	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0.082	0.082	0	0	0.004
Total	3.996	4.005	3.990	3.992	3.994	3.989	3.999	4.003	4.001	15.832	15.972	8.033	8.046	3.931

(JXA-8100,电子束直径1μm,加速电压20kV,束流 1×10^{-8} 安培) n. a. = Not analyzed.

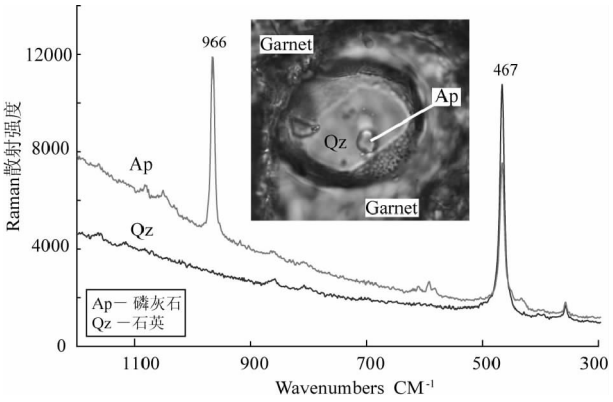


图 4 石榴石中石英包体的显微激光拉曼光谱

石英包体中存在磷灰石，磷灰石的显微激光拉曼光谱也显示在图中。图中照片在单偏光下拍摄，照片宽度 40μm。Ap-磷灰石，Qz-石英

Fig. 4 The Raman spectrum for a quartz inclusion in garnet

An apatite inclusion occurs in quartz, the Raman spectrum of apatite inclusion also is showing. Ap-apatite, Qz-quartz

5 讨论与结论

在中亚地区已经发现了多处榴辉岩和相关高压—超高压变质岩，包括我国西南天山的榴辉岩（高峻，1997；张立飞等，2005；Gao *et al.*，1999；Zhang *et al.*，2002）和哈萨克斯坦的超高压变质岩（Sobolev *et al.*，1986；Sobolev and Schatsky，1990；Zhu and Ogasawara，2002b）。然而，尽管西准噶尔地区发育数条蛇绿混杂岩带，但一直没有发现榴辉岩。目前在该地区发现的唯一高压变质岩石是唐巴勒蓝片岩（郭义华，1983），该蓝片岩出露于艾比湖北岸的中奥陶统蛇纹混杂岩中，被下志留统不整合覆盖。张立飞（1997）对采自苏月克河口处的钠长绿帘蓝闪石片岩中的钠质闪石进行的$^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年工作表明，两个蓝闪石的坪年龄分别为 458Ma 和 470Ma，表明唐巴勒蛇绿混杂岩带中的蓝片岩在中—晚奥陶世经历了高压变质作用。百口泉地区的蛇绿岩与白碱滩地区的蛇绿岩同属一个蛇绿混杂岩带（徐新等，2006，这两个地区相隔约约 20km，见图 1）。研究表明，白碱滩二辉橄榄岩来自地幔 >90km 深处，其中的辉石在地幔岩侵位过程中分解（形成出溶结构），并发生塑性变形（朱永峰和徐新，2007）。

百口泉石榴角闪岩中石榴石含大量石英包体以及具有的金红石—钛铁矿—磷灰石—石英—锆石包体组合说明，该岩石不是异剥钙榴岩的退变质的产物（白碱滩石榴角闪岩中的石榴石不含水（见表 1），这与异剥钙榴岩中的含水钙铝榴石形成鲜明对照），而是榴辉岩退变的产物（辅助证据还包括与石榴角闪岩共生的二辉橄榄岩中发育的辉石出溶结构和辉石塑性变形，这些均表明石榴角闪岩经历的变质过程发生在比较高压力的俯冲带环境，而非形成异剥钙榴岩的洋底）。

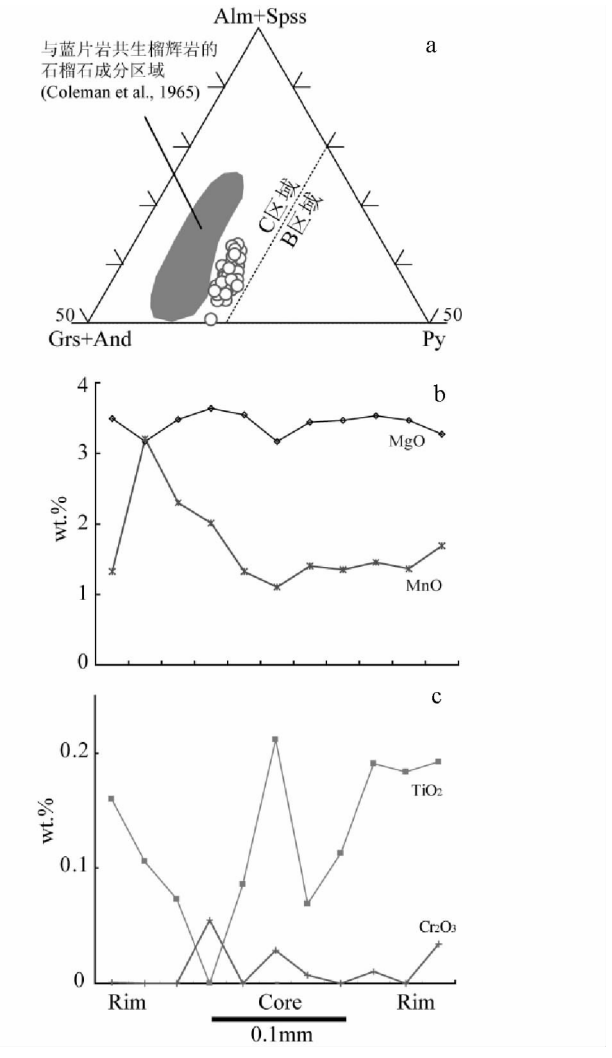


图 5 a）石榴角闪岩中石榴石的成分图（分析了 73 个成分点，表 1 只是其中的部分数据，全部数据可以向作者索取），依据 Coleman *et al.*（1965）；b-c）单个石榴石颗粒的剖面成分变化 Alm-铁铝榴石，Spss-锰铝榴石，Grs-钙铝榴石，And-钙铁榴石，Py-镁铝榴石

Fig. 5 a) Compositional variation of garnets in the Baikouquan garnet amphibolite (based on Coleman *et al.* 1965); b-c) Compositional variation across one garnet grain. Alm-Almandine, Spss-Spessartine, Grs-Grossular, And-Andradite, Py-Pyrope

岩相学研究表明，百口泉石榴角闪岩至少记录着四个变质阶段：石榴石—单斜辉石（可能由绿辉石退变而来）—金红石—磷灰石—石英—锆石组成的阶段Ⅰ（榴辉岩相 *P-T* 条件），钙铝榴石—普通辉石—钛铁矿—磷灰石（角闪石组成的退变阶段Ⅱ，角闪石—斜长石—榍石—钛铁矿构成的阶段Ⅲ（角闪岩相 *P-T* 条件），以及绿帘石—石英—绿泥石构成的绿片岩相变质阶段（Ⅳ）。尽管第Ⅰ阶段是否存在还存在不确定性（需要寻找更多证据），石榴角闪岩的发现为深入研究西准噶尔地区的地

球动力学提供了新的物质基础,将来的工作包括继续寻找可能存在的榴辉岩或者榴辉岩相的矿物,并系统研究其地球化学性质,以限定该地区俯冲带的性质和演化历史。

致谢 三位匿名审稿人提出的建设性修改意见和建议帮助我们提高了本文质量。国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B08)和中国科学院矿产资源重点实验室联合资助,实验室工作得到舒桂明老师(北京大学)和毛骞博士(中国科学院矿产资源重点实验室)的大力协助。

References

Coleman RG, Lee DE, Beatty LB and Brannock WW. 1965. Eclogites and eclogites: Their differences and similarities. Bull. Geol. Soc. America, 76: 483 – 580

Gao J. 1997. The discovery of eclogites and its tectonic implications, southwestern Tianshan. Chinese Science Bulletin, 42(7): 737 – 740 (in Chinese)

Gao J, Klemd R, Zhang L, *et al.* 1999. *P-T* path of high-pressure/low-temperature rocks and tectonic implications in the western Tianshan Mountains, NW China. Journal of metamorphic geology, 17: 621 – 636

Guo YH. 1983. The blueschist in Tangbale, Xinjiang. In: Plate tectonic of North of China. Beijing: Geological Publishing House, 89 – 104

He GQ, Liu JB, Zhang YQ and Xu X. 2007. Keramay ophiolitic mélange formed during Early Paleozoic in western Junggar basin. Acta Petrologica Sinica, 23(7): 1573 – 1576 (in Chinese with English Abstract)

Huang JH, Lu XC and Zhu XN. 1995. Advance in research of the ophiolites in Hongguleleng of North Junggar, Xinjiang. Xinjiang Geology, 13(1): 20 – 30 (in Chinese with English Abstract)

Kwon ST, Tilton CR, Coleman, *et al.* 1989. Isotopic investigations on the tectonic of the west Junggar region, Xinjiang, China. Tectonics, 8: 719 – 727

Leake BE, *et al.* 1997. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine, 61: 295 – 321

Sobolev NV, Dobretsov NL, Bakirov AB and Shatsky VS. 1986. Eclogites from various types of metamorphic complexes in the USSR and problems of their origin. In: Evans BW and Brown EH (eds.) Blueschists and eclogites. Geol Soc Am Memoir, 164: 349 – 363

Sobolev NV and Schatsky VS. 1990. Diamond inclusions in garnet from metamorphic rocks: A new environment for diamond formation. Nature, 343: 742 – 745

Wang R and Zhu YF. 2007. Geology of the Baobei gold deposit in western Juggar and zircon SHRIMP age of its wall-rocks, western Junggar (Xinjiang, NW China). Geological Journal of China Universities, 13: 590 – 602 (in Chinese with English abstract)

Xiao XC, Tang YQ and Feng YM. 1991. Tectonic evolution of the Northern Xinjiang and its adjacent regions. Beijing: Geological Publishing House, 52 – 55

Xu X. 1998. On opening-closing tectonics of Xinjiang. Xinjiang Geology, 16(1): 1 – 12 (in Chinese with English Abstract)

Xu X, He GQ, Li HQ, Ding TF, Liu XY and Mei SW. 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. Geology in China, 33: 470 – 475 (in Chinese with English Abstract)

Xue YX and Zhu YF. 2007. Genesis of the siderite in Jurrasic olivine basalt, Kelamay, Xinjiang, NW China. Acta Petrologica Sinica, 23: 1108 – 1122 (in Chinese with English Abstract)

Zhang C and Zhai MG. 1990. Characters and tectonic evolution of the Western Junggar ophiolites in Xinjiang. In: Geoscience of Xinjiang No. 2, Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Zhang C and Huang X. 1992. The ages and tectonic settings of ophiolites in west Junggar, Xinjiang. Geological Review, 38: 509 – 524 (in Chinese with English Abstract)

Zhang LF. 1997. $^{40}Ar/^{39}Ar$ age of blueschists in Tangbale, Western Junggar, Xinjiang, and its significance. Chinese Science Bulletin, 42: 2178 – 2181 (in Chinese)

Zhang LF, Ellis DJ, Williams S and Jiang WB. 2002. Ultra-high pressure metamorphism in western Tianshan, China: Part II. Evidence from magnesite in eclogite. American Mineralogist, 87: 861 – 866

Zhang LF, Ai YL, Li Q, *et al.* 2005. The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in southwestern Tianshan, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 21: 1029 – 1038 (in Chinese with English abstract)

Zhu BQ, Wang LS and Wang LX. 1987. Paleozoic Era ophiolite of southwest part in western Junggar, Xinjiang, China. Bull. Xi´an Inst. Geol. Min. Res., Chinese Acad. Geol. Sci., 17: 3 – 64 (in Chinese)

Zhu YF and Ogasawara Y. 2002a. Carbon recycled into the deep Earth: Evidenced by dolomite dissociation in subduction-zone rocks. Geology, 30: 947 – 950

Zhu YF and Ogasawara Y. 2002b. Phlogopite and coesite exsolution from super-silicic clinopyroxene. International Geology Review, 44: 831 – 836

Zhu YF and Xu X. 2007. Exsolution texture of two-pyroxenes in lherzolite from Baijiangtan ophiolitic mélange, western Junggar, China. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 1075 – 1086 (in Chinese with English Abstract)

附中文参考文献

何国琦,刘建波,张跃迁, 徐新. 2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定. 岩石学报,23(7): 1573 – 1576

黄建华,吕喜朝,朱星南. 1995. 北疆准噶尔洪古勒楞蛇绿岩研究新进展. 新疆地质, 13(1): 20 – 30

高俊. 1997. 西南天山榴辉岩的发现及其大地构造意义. 科学通报, 42(7): 737 – 740

郭义华. 1983. 新疆唐巴勒地区的蓝片岩. 见: 中国北方板块构造论文集. 北京,地质出版社,89 – 104

王瑞, 朱永峰. 2007. 西准噶尔宝贝金矿地质与容矿火山岩的锆石 SHRIMP 年龄. 高校地质学报, 13(3): 590 – 602

肖序常,汤耀庆,冯益民等. 1991. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社,52 – 55

徐新. 1998. 概论新疆开合构造. 新疆地质, 16(1): 1 – 12

徐新,何国琦,李华芹等. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. 中国地质,33: 470 – 475

薛云兴,朱永峰. 2007. 克拉玛依侏罗纪橄榄玄武岩中菱铁矿的成因. 岩石学报, 23(5): 23: 1108 – 1122

张驰,翟明国. 1990. 新疆西准噶尔蛇绿岩地质特征及构造演化. 新疆地质科学(第 2 辑),北京: 地质出版社

张驰,黄萱. 1992. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境探讨. 地质论评, 6: 509 – 524

张立飞. 1997. 新疆西准噶尔唐巴勒蓝片岩 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄及其地质意义. 科学通报, 42: 2178 – 2181

张立飞, 艾永亮, 李强等. 2005, 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化. 岩石学报,21(4): 1029 – 1037

朱宝清,王来生,王连晓. 1987. 西准噶尔西南地区古生代蛇绿岩. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, No. 17: 3 – 64

朱永峰,徐新. 2007. 西准噶尔白碱滩二辉橄榄岩中两种辉石的出溶结构及其地质意义. 岩石学报, 23(5): 1075 – 1086