

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

柴达木盆地北缘早古生代高压—超高压变质带中 发现典型超高压矿物——柯石英

杨经绥¹⁾ 宋述光¹⁾ 许志琴¹⁾ 吴才来¹⁾ 史仁灯¹⁾ 张建新¹⁾

李海兵¹⁾ 万渝生¹⁾ 刘 焰¹⁾ 邱海峻¹⁾ 刘福来¹⁾ Shigenori Maruyama²⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 东京工业大学地球行星系, 日本

内容提要 从都兰北带榴辉岩的片麻岩围岩的锆石中发现了柯石英包裹体和石墨包裹体, 说明该超高压带的峰期变质作用已达柯石英稳定区间(> 2.8 GPa)但小于金刚石的稳定区间(< 3.5 GPa), 从而确定了柴达木盆地北缘存在早古生代超高压变质作用和陆-陆碰撞作用, 为中国中部存在一条横贯东西的早古生代(大致500~400 Ma)高压超高压变质带的推断提供了新的关键性证据。

关键词 超高压变质带 柯石英 柴达木盆地北缘 榴辉岩 都兰

自在柴达木盆地北缘(下简称柴北缘)大柴旦鱼卡发现榴辉岩以来(杨经绥等, 1998), 陆续又有报道在锡铁山(Zhang et al., 2000a)、都兰北野马滩(杨经绥等, 2000)及沙柳河(张雪亭等, 1999)等地找到了榴辉岩。据此, 杨经绥等(2000)认为在柴达木盆地北缘, 即沿祁连地体的南界, 存在一条至少350 km长的高压—超高压变质带, 并推测该带往西与南阿尔金榴辉岩相连(刘良等, 1996; 许志琴等, 1999; 张建新等, 1999), 向东则有可能与秦岭(胡能高等, 1995)、熊店(张泽明等, 1995; 简平等, 1997)和北大别(魏春景等, 1997; 徐树桐等, 1999)的榴辉岩相连, 组成一条巨大的横贯中国东西的早古生代高压—超高压变质带。

然而, 尽管在柴北缘榴辉岩中已发现柯石英的假象及一些超高压条件下形成的特殊结构, 以及矿物对的温压计算表明榴辉岩的形成 $p = 2.8 \sim 3.3$ GPa (Yang et al., 2000a), 由于未能找见超高压变质作用通常所具有的柯石英和金刚石典型的超高压矿物, 柴北缘究竟是否曾达到超高压的变质条件仍被视为一个未解的谜。毋庸置疑, 确定柴北缘榴辉岩带是否是超高压变质带, 无论对认识该带的碰撞—折返的动力学机制, 还是开展区域超高压带的对比, 意义都十分重大。

本文报道我研究群体与日本东京工业大学地球行星系 Maruyama 实验室合作研究所取得的最新成果。

1 柴达木盆地北缘早古生代高压—超高压变质带的主要特征

柴北缘早古生代高压—超高压变质带位于柴达木盆地北缘(图1), 从目前发现的露头来看, 该带西起大柴旦西, 向东经锡铁山至都兰北沙柳河, 长度已超过350 km, 至于东西再如何延伸, 有待今后进一步工作。该带以出露大量的榴辉岩、橄榄岩和石榴子石橄榄岩、以及一些蛇绿岩块和相伴花岗岩类为特征, 它们呈构造岩块产在新元古代的达肯大坂群片麻岩中(Yang et al., 2000b)。

大柴旦一带的榴辉岩的高压矿物组合为石榴子石($\text{Alm}_{44\sim 62}\text{Grs}_{15\sim 33}\text{Prp}_{12\sim 30}$)-绿辉石($\text{Jd}_{37\sim 46}$)-多硅白云母($\text{Si} = 3.3 \sim 3.5$)-金红石。温压计算表明, 榴辉岩的变质峰期已达超高压($t = 720^\circ\text{C}$, $p = 3.3$ GPa, Yang et al., 2000a)。锡铁山一带的榴辉岩的矿物组合为石榴子石($\text{Alm}_{28\sim 31}\text{Grs}_{17\sim 22}\text{Prp}_{44\sim 47}$)-绿辉石($\text{Jd}_{22\sim 26}$)-金红石, 温压计算表明榴辉岩的变质峰期 $t = 770 \sim 830^\circ\text{C}$, $p > 1.4$ GPa (Zhang et al., 2000a)。都兰的榴辉岩可进一步分为南北两带。北带

注: 本研究获得国家基金重点(编号 49732070)、国家重点基础研究发展规划(G1998040800)、国家地质调查项目(DKD2001003)及原地质矿产部“九五”重大基础项目(编号 9501106)资助成果。

收稿日期: 2001-02-02; 改回日期: 2001-03-22; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 杨经绥, 男, 获加拿大 Dalhousie 大学博士学位。现为中国地质科学院地质研究所研究员, 主要从事青藏高原、造山带岩石构造研究。通讯地址: 100037, 北京西城百万庄路26号, 中国地质科学院地质研究所; Email: yangjsui@public.bta.net.cn。

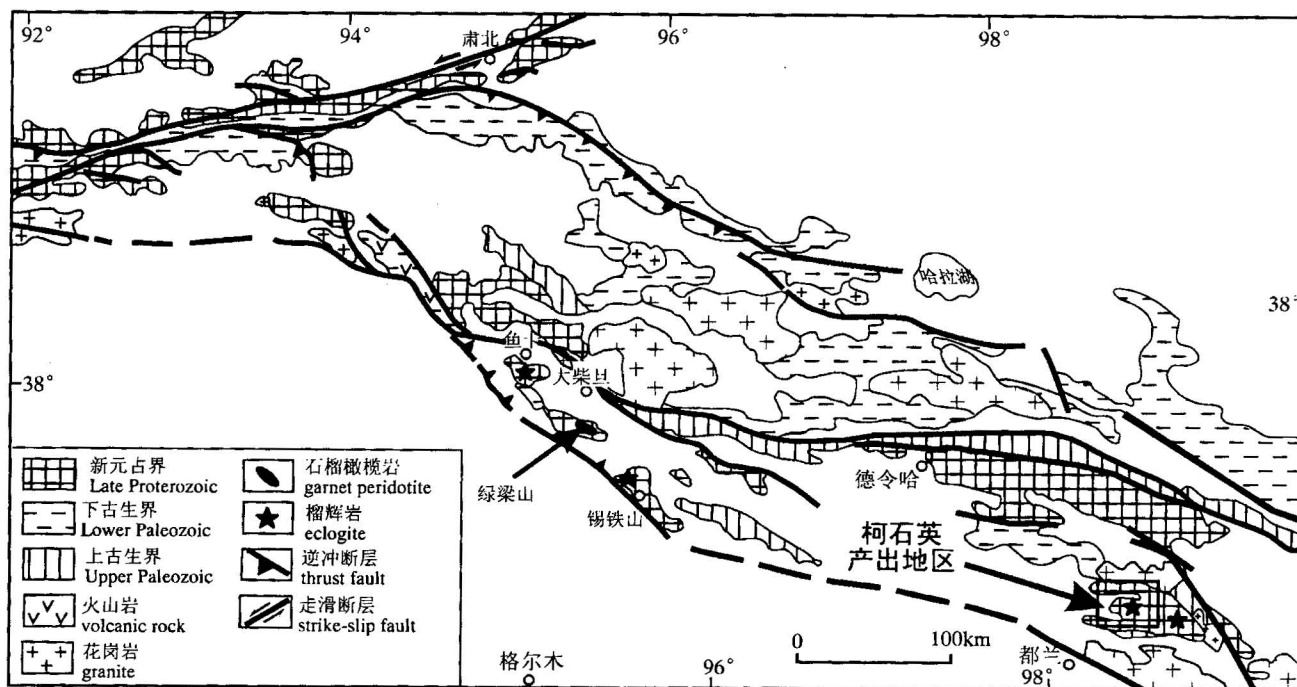


图 1 中国西部柴达木盆地北缘榴辉岩带地质简图

Fig. 1 Geological map of the North Qaidam region

榴辉岩相变质矿物组合为石榴子石 ($\text{Alm}_{41\sim58}\text{Grs}_{13\sim38}\text{Prp}_{10\sim27}$)-绿辉石 ($\text{Jd}_{23\sim37}$)-多硅白云母 ($\text{Si} = 3.4\sim3.5$)-金红石。矿物温压计算显示榴辉岩的变质条件已接近超高压 ($t = 624\sim735^\circ\text{C}$, $p = 2.0\sim2.8\text{ GPa}$)。南带榴辉岩峰期变质矿物为石榴子石 ($\text{Alm}_{38\sim54}\text{Grs}_{21\sim24}\text{Prp}_{19\sim37}$)-绿辉石 ($\text{Jd}_{24\sim38}$)-蓝晶石-金红石。榴辉岩的峰期变质条件为 $t = 800\sim924^\circ\text{C}$, 而根据绿辉石-蓝晶石组合则可估测南带的压力值 $p > 2.0\text{ GPa}$ (杨经绥等, 2000)。此外, 类似于大别苏鲁榴辉岩中的一些超高压变质作用的证据也出现在南祁连的榴辉岩中, 例如, 石榴子石中见有一些具放射状裂隙的包体, 它们是一些细粒状钾长石+石英 (柯石英假象), 绿辉石中的 SiO_2 出溶晶片, 高 Si 的多硅白云母等特征。而超高压变质带中所常见的石榴子石橄榄岩组合也早已在柴北缘地区发现 (王云山等, 1987), 并且其平衡矿物对的计算给出了很高的压力值 (达 2.5 GPa) (杨建军等, 1994; Yang et al., 2000b)。据此, 我们推断该带的榴辉岩的变质条件已达超高压相, 但因未找到典型的超高压变质矿物——柯石英, 许多人对该超高压带的存在仍有疑问。

2 片麻岩锆石中柯石英包裹体的发现

根据国际上研究超高压矿物的经验 (Tabata et al., 1998; Katayama et al., 2000), 以及在大别—苏鲁超高压带中所取得的进展 (Ye et al., 2000), 尤其是从江苏东海中国大陆钻探预先导孔的约 1000 m 厚的片麻岩的锆石中发现大量柯石英经验来看 (刘福来等, 2001), 经历过超高压变质作用的片麻岩能够形成较多的柯石英并且容易被保存在锆石中幸免于后期地质事件的改造。为此, 我们挑选了一批与榴辉岩及其伴生片麻岩围岩的锆石用于寻找柯石英。锆石的分选工作分别由天津地质矿产研究所和廊坊区调院完成。用于激光拉曼光谱测试的锆石样品的准备工作和锆石中包裹体的矿物鉴定是在日本东京工业大学的地球行星系 Maruyama 教授的实验室完成, 所用仪器型号 JASCO NRS-2000C, 激光功率为 $20\text{ }\mu\text{W}$, 波长 514.54 nm 。

制备样品时首先用胶将锆石粘住固定, 用金刚砂将锆石磨至露出中间部分后再将其表面抛光。然后用激光拉曼光谱逐个颗粒检查其中的包裹体。这个柯石英的搜寻过程需要细致和耐心。检查锆石颗粒的数量可根据目的不同而变化, 通常情况下, 每个样品至少需检查 40~50 粒, 对于特殊的样品, 则需

视情况增加样品量。我们找到柯石英的样品是检查了数百粒锆石后才找到几粒锆石含柯石英包裹体。

发现柯石英的样品为都兰北带最大榴辉岩块体(200 m×300 m)的片麻岩围岩(样品编号00Y-219, 00Y-132),岩石已强烈变形。该片麻岩样品上下均有榴辉岩出露。根据矿物组合,该类片麻岩应定名为石榴子石二云母石英片麻岩,由石榴子石(少)-白云母(30%)-黑云母(<10%)-石英(>50%)-榍石(少)组成。这显然是一个退变质的矿物组合,石榴子石为残斑晶,被拉长并旋转,白云母为窄叶状,黑云母则为石榴子石的退变产物,仅局部分布,峰期变质的高压—超高压矿物已不见。与其相伴的榴辉岩为深灰绿色,岩石十分新鲜,主要部分为中粒致密块状,绿辉石和石榴子石含量近于相等。石榴子石中可见多晶石英和钾长石包裹体并具放射状裂纹,绿辉石中可见石英出溶。

锆石多为浑圆状,一些锆石中间可见不干净核部,系早期沉积锆石的残留。锆石中找到许多种类的矿物包裹体,有柯石英、石墨、多硅白云母、石榴子石、金红石、石英、磷灰石和碳酸盐矿物。其中柯石英产在锆石边部(图2),大者达十余微米,石墨也呈小颗粒,大小与柯石英相仿。

至此,一桩悬案似乎可以有了结论,即找到了柴北缘超高压变质作用的直接证据——柯石英,其变质峰期的压力在柯石英和金刚石的稳定区之间($p \geq 2.8$ GPa,但 < 3.5 GPa)。

3 柴达木盆地北缘超高压变质带的构造意义

同位素年代学研究已表明大柴旦榴辉岩的峰期变质时代为494(U-Pb 锆石),其退变阶段形成的多硅白云母的变质时代为466 Ma(Ar-Ar 坪年龄),可

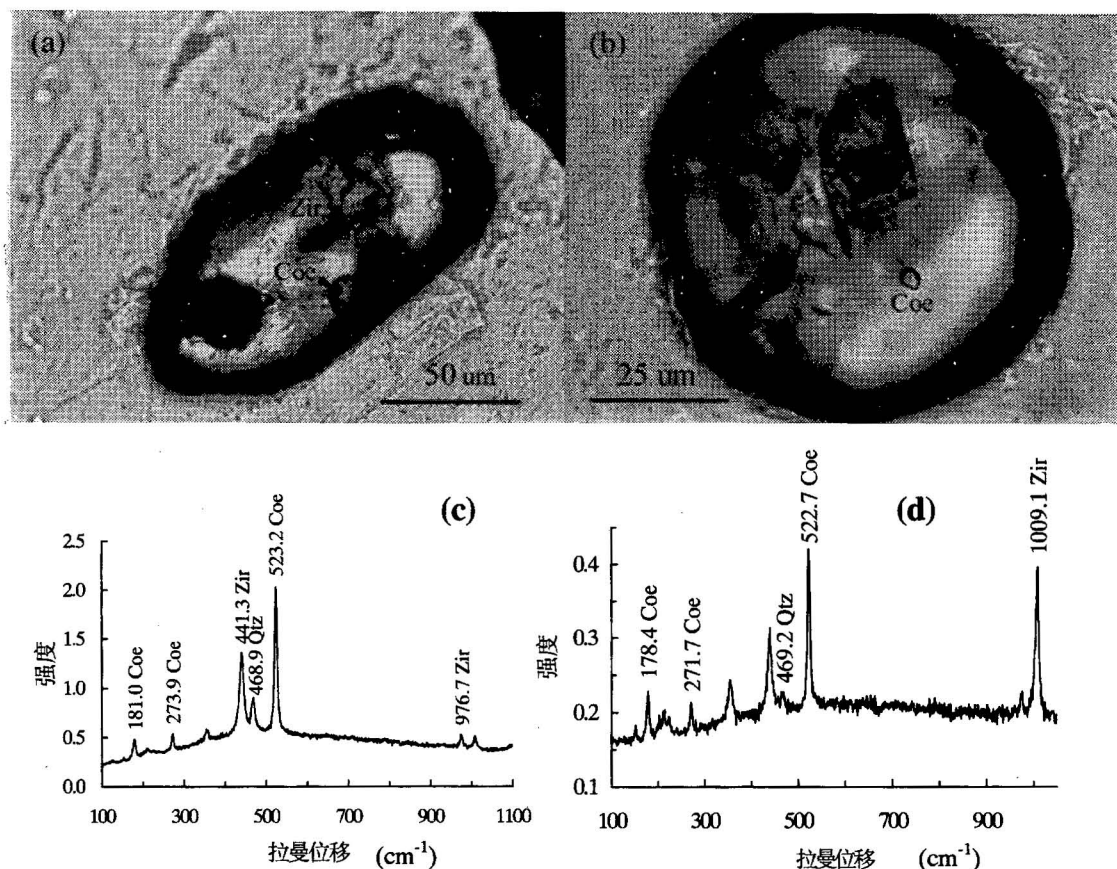


图2 都兰超高压地体中片麻岩锆石中柯石英(Coe)包裹体及其激光拉曼谱图

Fig. 2 Microphotographs of coesite inclusions in zircons in gneiss from Dulan UHP terrane

- (a) — 柯石英位于锆石的边缘(00Y219); (b) — 柯石英位于锆石新生的外环中(00Y132); (c) — (a)中柯石英的激光拉曼谱峰;
 (d) — (b)中柯石英的激光拉曼谱峰; Coe — 柯石英; Zir — 锆石; Qtz — 石英
 (a) — Coesite inclusion at the edge of zircon (00Y219); (b) — coesite within the newly-grown rim (UHP stage) of zircon (00Y132);
 (c) and (d) — laser Raman spectrum showing the peaks of coesite (Coe), zircon (Zir) and weak quartz (Qtz)

能反映高压变质岩石折返阶段所形成(许志琴等, 1999), 并与片麻岩围岩的变质年龄 477 Ma 十分接近(白云母 Ar-Ar 坪年龄, 张建新等, 2000)。从都兰北带榴辉岩的副片麻岩围岩的锆石中发现了柯石英包裹体和石墨包裹体, 确定了柴北缘存在早古生代超高压变质作用和陆-陆碰撞作用。柯石英的发现及柴北缘超高压变质带的确定, 对在中国中部存在一条横贯东西的早古生代(时代约 500~400 Ma) 高压超高压变质带的推断提供了新的关键性的证据。该带全长超过 4000 km, 认为是代表中国南方板块与北方板块碰撞拼合的标志(杨经绥等, 2000), 并可能延经西昆仑, 与哈萨克斯坦境内的 Kokchetav 超高压变质带相连(Maruyama et al., 2000), 形成全球规模最巨大的超高压变质带。

在日本东京工业大学地球行星系工作期间得到 Shio Watanabe, I. Katayama 和 H. Masago 等多人帮助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 胡能高, 徐柏青, 赵东林. 1997. 北秦岭造山带榴辉岩及相关岩石的地球化学特征. 西安地质学院学报, 19(1): 7~13.
- 简平, 杨巍然, 李志昌, 周惠芳. 1997. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩——同位素地质年代学的证据. 地质学报, 71(2): 133~141.
- 刘福来, 许志琴, 杨经绥, Maruyama S, Liou J G, Katayama I, Masago H. 2001. 中国苏北预先导孔 CCSD-PP2 片麻岩中锆石的矿物包裹体及其超高压变质作用的证据. 科学通报, 46: 241~246.
- 刘良, 车自成, 罗金海. 1996. 阿尔金山西段榴辉岩的确定及其地质意义. 科学通报, 41: 1485~1488.
- 王云山, 陈基娘. 1987. 青海省及毗邻地区变质地带与变质作用. 北京: 地质出版社, 213~220.
- 魏春景, 吴玉新, 倪云燕, 等. 1999. 河南桐柏地区榴辉岩的特征及其地质意义. 科学通报, 44: 1882~1885.
- 徐树桐, 苏文, 刘贻灿, 等. 1999. 大别山北部榴辉岩的发现及其岩相学特征. 科学通报, 44: 1452~1456.
- 许志琴, 杨经绥, 张建新, 姜枚, 李海兵, 崔军文. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报, 73(3): 193~205.
- 杨建军, 朱红, 邓晋福, 赖绍聪. 1994. 柴达木北缘石榴子石橄榄岩的发现及其意义. 岩石矿物学杂志, 13(2): 97~104.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 吴才来, 崔军文, 张建新, 陈文. 1998. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩. 科学通报, 43: 1544~1548.
- 杨经绥, 许志琴, 宋述光, 吴才来, 史仁灯, 张建新, 万渝生, 李海兵, 金小赤, Jolivet M. 2000. 青海都兰榴辉岩的发现: 试论我国中央造山带中的高压—超高压变质带的分布及构造意义. 地质学报, 74(2): 156~168.
- 张建新, 张泽明, 许志琴, 杨经绥, 崔军文. 1999. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄. 科学通报, 44: 1109~1112.
- 张建新, 杨经绥, 许志琴, 张泽明, 陈文, 李海兵. 2000. 柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄: 来自 U-Pb 及 Ar-Ar 同位素测定的证据. 地球化学, 29(3): 217~222.
- 张雪亭, 吕惠庆, 陈正兴, 张宝华, 李福祥, 朱跃升, 李朝兰, 王彦. 1999. 柴北缘造山带沙柳河地区榴辉岩相高压变质岩石的发现及初步研究. 青海地质, (2): 1~13.
- 张泽明, 游振东, 韩郁菁, 桑隆康. 1995. 大别—苏鲁榴辉岩带的岩石学、变质作用过程及成因研究. 地质学报, 69(4): 306~323.

References

- Hu Nenggao, Xu Baiqing, Zhao Donglin. 1997. Geochemical characteristics of eclogites and the related rocks from the northern Qinling Orogenic Belt. Journal of Xian College of Geology, 19 (1): 7~13 (in Chinese with English abstract).
- Jian Ping, Yang Weiran, Li Zichang, Zhou Huifang. 1997. Isotopic geochronological evidence for the Caledonian Xiongdiian eclogite in the western Dabie Mountains, China. Acta Geologica Sinica, 71 (2): 133~141 (in Chinese with English abstract).
- Katayama I, Zayachkovsky A A, Maruyama S. 2000. Prograde pressure-temperature records from inclusions in zircons from ultrahigh-pressure-high-temperature rocks of the Kokchetav Massif, northern Kazakhstan. The Island Arc, 9: 417~427.
- Maruyama S, Parkinson C D. 2000. Overview of the geology, petrology and tectonic framework of the HP—UHPM Kokchetav Massif, Kazakhstan. The Island Arc, 9: 439~455.
- Liu Fulai, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Maruyama S, Liou J G, Katayama I, Masago H. 2001. Mineral inclusions and evidence of ultrahigh-pressure metamorphism from zircons in gneisses in pre-pilot hole (CCSD-PP2) of Chineses Continental Scientific Drilling Project, North Jiangsu, China. Chinese Science Bulletin, 46: 241~246 (in Chinese).
- Liu Liang, Che Zicheng, Luo Jinhai. 1996. Determination of eclogite in western Altyn and its geological significance. Chinese Science Bulletin, 41: 1485~1488 (in Chinese).
- Tabata H, Yamauchi K, Maruyama S, Liou J G. 1998. Tracing the extent of ultrahigh—pressure metamorphic terrane: A mineral-inclusion study of zircons in gneisses from the Dabie Mountains. In: Harker B, Liou J G, ed. When Continent Collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh-pressure rocks, Kluwer Academic Publishers, 261~273.
- Wang Yunshan, Chen Jiniang. 1987. Metamorphic zones and metamorphism in Qinghai Province and its adjacent areas. Beijing: Geological Publishing House, 213~220 (in Chinese with English abstract).
- Wei Chunjing, Wu Yuxin, Ni Yunyan, et al. 1999. Eclogites and their geological implications in Tongbai Region, Henan Province. Chinese Science Bulletin, 44: 1882~1885 (in Chinese).
- Xu Shutong, Su Wen, Liu Yichan, et al. 1999. Discovery of eclogites and their petrographic features in the North Dabieshan. Chinese Science Bulletin, 44: 1452~1456 (in Chinese).
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Jianxin, Jiang Mei, Li Haibing, Cui Junwen. 1999. A comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric Shearing. Acta Geologica Sinica, 73(3): 193~205 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Haibing, Wu Cailai, Cui Junwen, Zhang Jianxin, Chen Wen. 1998. Discovery of eclogite at northern margin of Qaidam Basin, NW China. Chinese Science Bulletin, 43: 1755~1760.
- Yang Jingsui, Song Shuguang, Wu Cailai, Shi Rendeng, Jolivet M. 2000a. North Qaidam ultrahigh pressure metamorphic (UHPM) belt on the northeastern Qinghai—Tibet plateau and its eastward

- extension. *Earth Science Frontiers*, 7 (Suppl.): 241~242.
- Yang J S, Xu Z Q, Li H B, Wu C L, Zhang J X, Shi R D. 2000b. An Early Paleozoic convergent border at the southern margin of the Qilian terrain; NW China: Evidence from the eclogite, garnet peridotite and ophiolite. *Journal of the Geological Society of China*, 43: 142~164.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Song Shuguang, Wu Cailai, Shi Rendeng, Zhang Jianxin, Wan Yusheng, Li Haibing, Jin Xiaochi, Jolivet M. 2000c. Discovery of eclogite in Dulan, Qinghai Province and its significance for studying the HP—UHP metamorphic belt along the Central Orogenic Belt of China. *Acta Geologica Sinica*, 74(2): 156~168 (in Chinese with English abstract).
- Yang J-J, Zhu H, Deng J-F, Zhou T-Z, Lai S-C. 1994. Discovery of garnet-peridotite at the northern margin of the Qaidam Basin and its significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 13: 97~105 (in Chinese with English abstract).
- Ye K, Yao Y, Katayama I, Cong B, Wang Q, Maruyama S. 2000. Large areal extent of ultrahigh-pressure metamorphism in the Sulu ultrahigh-pressure terrane of East China: new implications from coesite and omphacite inclusions in zircon of granitic gneiss. *Lithos*, 52 (1~4): 157~164.
- Zhang Jianxin, Zhang Zeming, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Cui Junwen. 1999. The age of U-Pb and Sm-Nd for eclogite from the western segment of Altyn Tagh tectonic belt. *Chinese Science Bulletin*, 44 (24): 2256~2259.
- Zhang J X, Xu Z Q, Yang J S, Li H B, Wu C L. 2000a. The Altun-North Qaidam eclogite belt in western China—another HP—UHP metamorphic belt truncated by large scale strike-slip fault in China. *Earth Science Frontiers*, 7 (Suppl.): 254~255.
- Zhang Jianxin, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Zhang Zeming, Chen Wen, Li Haibing. 2000b. Peak and retrograde age of eclogites at the northern margin of Qaidam basin, Northwestern China: evidences from U-Pb and Ar-Ar dates. *Geochemica*, 29(3): 217~222 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xueting, Lu Huiqing, Chen Zhengxing, Zhang Baohua, Li Fuxiang, Zhu Yuesheng, Li Chaolan, Wang Yan. 1999. Discovery of high-pressure metamorphic rocks of eclogite facies in Shaliuhe area of the north margin orogenic belt of Qaidam Basin and its preliminary study. *Qinghai Geology*, (2): 1~13 (in Chinese).
- Zhang Zeming, You Zhendong, Han Yuqing, Sang Longkang. 1995. Petrology, metamorphic process and petrogenesis of Dabie—Sulu eclogite belt. *Acta Geologica Sinica*, 69(4): 306~324 (in Chinese with English abstract).

Discovery of Coesite in the North Qaidam Early Paleozoic Ultrahigh-high Pressure (UHP—HP) Metamorphic Belt, NW China

YANG Jingsui¹⁾, SONG Shuguang¹⁾, XU Zhiqin¹⁾, WU Cailai¹⁾, SHI Rendeng¹⁾, ZHANG Jianxin¹⁾, LI Haibing¹⁾, WAN Yusheng¹⁾, LIU Yan¹⁾, QIU Haijun¹⁾, LIU Fulai¹⁾, Shigenori Maruyama²⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing, 100037, China*

2) *Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan*

Abstract

Coesite was discovered as inclusions in zircon separates from gneiss associated with a large eclogite body in the North Belt of the Qaidam UHP terrane. Some graphite inclusions also found. This finding confirms our previous suggestion that the North Qaidam UHP terrane was recrystallized at p below the diamond stability field based on several lines of evidence such as polycrystalline K-feldspar and quartz inclusions in eclogitic garnet, quartz lamellae in omphacite and p - t estimates for both eclogite and garnet peridotite. The occurrence of coesite inclusions in zircon suggests in-situ UHP metamorphism. This UHP terrane, along with the Altun eclogite of 504 Ma, and those to the east of Qilian Mts, in the North Qingling, Tongbai and North Dabie regions, recorded the Early Paleozoic collision between the Sino—Korean and Yangtze plates. This UHP belt could extend to further west to the similar age Kokchetav UHP belt in Kazakhstan.

Key words: UHPM belt; coesite; north margin of Qaidam basin; eclogite; Dulan