

甘肃北山地区榴辉岩的变质年龄:来自锆石的 U-Pb 同位素定年证据

杨经绥¹ 吴才来¹ 陈松永¹ 史仁灯¹ 张建新¹ 孟繁聪¹ 左国朝²
吴汉泉³ Elena Constantinovskaya⁴

(1. 中国地质科学院地质研究所, 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037;
2. 甘肃省地质矿产局, 甘肃 兰州 730000; 3. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054;
4. 俄罗斯科学院地质研究所, 俄罗斯 莫斯科)

摘要:北山造山带地处塔里木—中朝板块与哈萨克斯坦板块的交汇部分, 主造山时期被认为是早古生代。榴辉岩产在北山造山带的南带, 带中榴辉岩与大量基性超基性洋壳岩石和俯冲碰撞有关的花岗岩等伴生, 反映该带有可能代表板块的边界。北山榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年表明, 榴辉岩相的变质年龄为 (819 ± 21) Ma, 原岩年龄为 (1007 ± 20) Ma, 表明北山地区存在新元古代一次重要的板块裂解和俯冲碰撞事件。与北山相邻的祁连山南部柴北缘地区近年也报道存在新元古代板块裂解和蛇绿岩洋壳形成事件, 表明中国西部存在区域上的新元古代洋盆裂解事件, 或称之为罗德里亚大陆裂解事件。需强调的是, 北山榴辉岩相变质事件发生在新元古代, 柴北缘榴辉岩的原岩虽为新元古代洋壳岩石, 但榴辉岩相变质作用则发生在早古生代, 反映北山新元古代俯冲碰撞事件之后的又一次俯冲碰撞事件。

关键词:甘肃北山; 榴辉岩; 高压变质作用; 新元古代; SHRIMP

中图分类号: P597⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)02-0317-09

近 20 年来以榴辉岩为代表的高压—超高压变质岩石成为国际地学界研究的热点, 虽然它在造山带中仅仅占很小的比例, 但却包含有造山带形成和演化的重要信息^[1]。中国这些年也陆续确定了一些超高压变质带, 如大别—苏鲁^[2-4]、柴北缘—阿尔金^[5-7]和北秦岭等^[8]。西南天山虽然已发现榴辉岩和蓝片岩, 但其是否达到超高压变质深度及变质时代尚存在争议^[9-10]。最近, 又有报道在华北古陆块北缘中段发现榴辉岩, 榴辉岩相变质时代为 (325 ± 4) Ma, 认为极有可能是古亚洲洋洋壳发生榴辉岩相高压变质作用的产物^[11]。

中国西部甘肃北山地区也已报道发现榴辉岩^[12], 位置在祁连山之北约 200 km, 产在敦煌地体与北部哈萨克斯坦板块之间的北山造山带的南带。北山造山带地处塔里木—中朝板块与哈萨克斯坦板块的交汇部分, 属于近东西向延伸的横贯中国的天山—兴安岭褶皱带的一部分, 全长约 300 km, 宽约 200 km, 主造山时期被认为是早古生代^[13]。但榴辉岩所在

地层为元古代表壳岩类, 其中花岗质围岩的锆石 U-Pb 谐和年龄 880 Ma^[12], 斜长花岗岩 850 Ma, 辉长岩 721 Ma, 表明存在新元古代构造事件^[14]。之前笔者通过锆石 SHRIMP 定年发现柴北缘榴辉岩的原岩和围岩片麻岩类的时代也属新元古代, 在 750~1 000 Ma, 但榴辉岩相的变质年龄为 500~440 Ma^[5, 15-16], 因此北山榴辉岩相变质年龄及榴辉岩原岩年龄, 以及是否与柴北缘超高压变质带存在某种联系就十分重要。笔者将报道北山榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年结果并进行初步讨论。

1 北山榴辉岩的主要特征

北山榴辉岩产在敦煌地体与北山北带地体之间的北山南带, 处于甘肃省柳园镇西约 50 km 的古堡泉附近(图 1)。榴辉岩所在地层为元古代的表壳岩类, 包括石英片岩、大理岩和斜长角闪岩等, 其中有多期花岗岩类及辉绿岩脉的侵入^[13, 17]。

收稿日期: 2006-01-20; 改回日期: 2006-02-10

基金项目: 国家重点基础项目(2004CB711001)和中国地质调查局地质大调查项目(200313000058, 2001010101)资助。

作者简介: 杨经绥, 男, 1950 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事构造岩石学研究; E-mail: yangjsui@ccsd.org.cn。

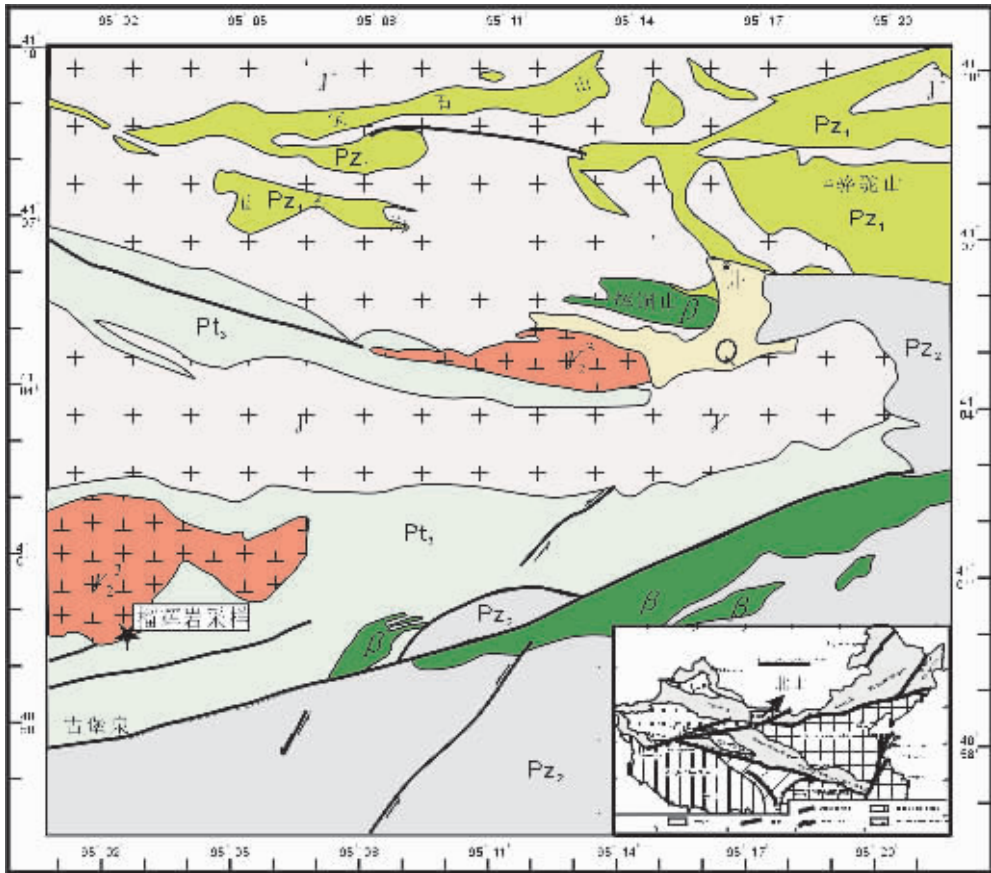


图1 北山榴辉岩所在地区地质略图(据甘肃省地质局^[1],1966;左国朝等^[2],1990 修改)

Pt₃—新元古代片麻岩;Pz₁—早古生代蛇绿岩;Pz₂—晚古生代碎屑岩;β—基性岩类;γ₂³—新元古代花岗岩;γ—显生宙花岗岩;Q—第四系
 Fig.1 Geological sketch map of the Beishan region showing the location of eclogite samples (modified after the 1:200000 Geological Map of the Houliuyuan Sheet, 1966; Zuo Guochao et al., 1990)
 Pt₃—Neoproterozoic gneiss;Pz₁—Early Paleozoic ophiolite;Pz₂—Late Paleozoic clastic rocks;β—Basic rocks;γ₂³—Neoproterozoic granite;
 γ—Phanerozoic eons granite;Q—Quaternary

所观察到的榴辉岩呈透镜体产在片麻岩中,长约 500 m,宽约 100 m,地理坐标为东经 95°02'28",北纬 40°59'27"。榴辉岩呈灰绿色,易于与周围的浅色片麻岩类区分(图 2-A)。榴辉岩的展布方向与片麻岩的片麻理平行,两者接触边部有辉绿岩脉侵入,脉宽 1~1.5 m,边界平直,突起地表(图 2-B)。辉绿岩十分新鲜,显微镜下未见变质变形,表明侵位作用发生在榴辉岩相变质事件之后。榴辉岩内部有花岗岩脉侵入(图 2-C),脉宽 1~2 m,与榴辉岩的长轴方向及片麻岩的片麻理方向斜交,岩石新鲜且没有变形,花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄为 540 Ma(左国朝,2004 年个人通讯)。榴辉岩主要为块状构造,地表风化成小碎片,反映岩石曾遭受应力破裂(图 2-D);一些榴辉岩中可以见到层理构造,可能反映榴辉岩的原岩特征。

榴辉岩为中细粒等粒结构,粒径多数 0.5~1 mm,榴辉岩相

的变质矿物主要为石榴石和绿辉石,少量金红石(图 3-A)。一些榴辉岩中见到石榴石局部富集成层,定向排列并有拉长现象,表明形成时处于应变状态(图 3-B)。石榴石中常见到保存很好的早期矿物包裹体(图 3-C),一些石榴石具有生长环带记录其生长过程。榴辉岩的退变现象普遍存在,尽管有相当数量的榴辉岩退变较弱。退变榴辉岩中石榴石仍有较好的保留,但绿辉石分解为辉石+斜长石±角闪石交生体(图 3-D)。前人测得绿辉石 Al₂O₃ 含量为 7.57%~8.15%,Na₂O 3.09%~4.56%,硬玉分子为 31%~35%;交生体辉石 Al₂O₃ 4%,Na₂O 2.14%,硬玉分子 17%,成分为钠质普通辉石,斜长石为更钠长石(An=13);石榴石中铁铝榴石含量 50%~55%,钙铝榴石含量 22%~29%,镁铝榴石含量 19%~22%,锰铝榴石 1%左右,主要落在 Coleman 等^[8]划分的 C 区内^[2]。计算得出榴辉岩的形成温度为 700℃~800℃,最小压力为 1.2~1.5 GPa^[2,19],表明榴辉岩属高

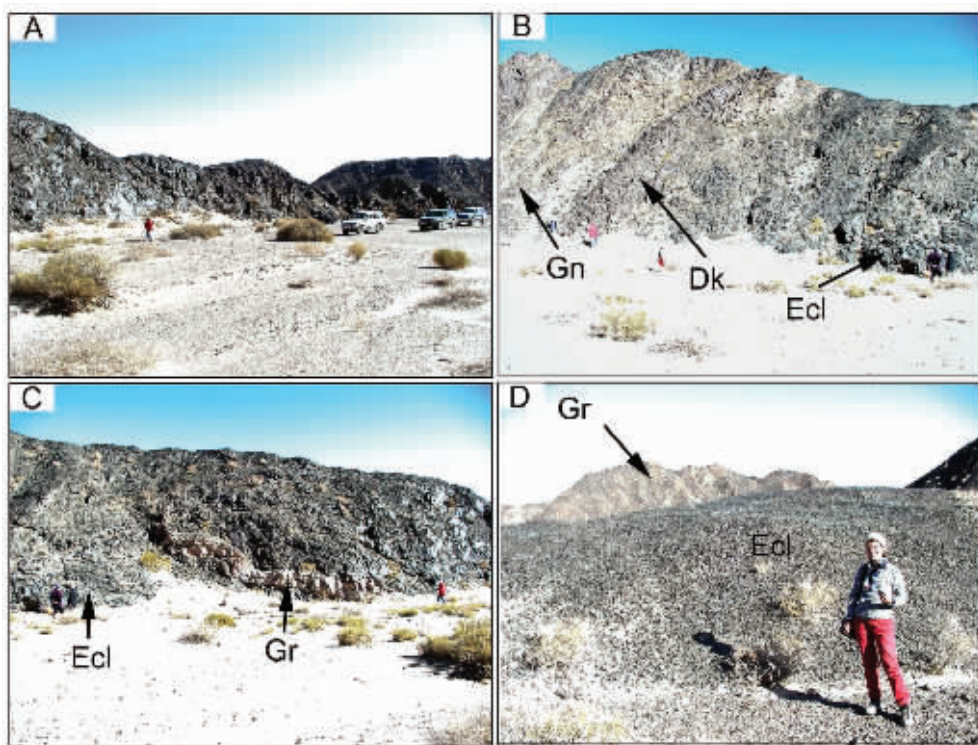


图 2 北山榴辉岩野外产出特征

A—榴辉岩呈灰绿色;B—榴辉岩(Ecl)和片麻岩(Gn)之间有一辉绿岩脉(Dk)侵入;C—榴辉岩中有 450Ma 的花岗岩(Gr)侵入;
D—榴辉岩保留新鲜和未变形特征

Fig.2 Field occurrences of the Beishan eclogite

A—Grayish green eclogite ;B—Dike between eclogite (Ecl) and gneiss (Gn);C—450 Ma granite (Gr) in eclogite;
D—Fresh and undeformed features preserved in eclogite

压变质岩,这与显微镜下的观察是一致的,即岩石中未见超高压岩石中常见的一些典型特征,如柯石英或其假象以及绿辉石中石英出溶等。

2 榴辉岩的锆石 SHRIMP 定年

锆石的 SHRIMP U-Pb 定年方法在超高压变质岩中已被广泛应用,尤其对含超高压矿物的锆石的原位定年,不仅可以精确给出超高压变质事件的年龄,还可以测出超高压变质之前的原岩年龄及超高压岩石折返过程中的退变质年龄^[8,16,20-21]。将野外采集的 10 kg 榴辉岩样品破碎至 80~120 目,用水淘洗粉尘后,先用磁铁除去磁铁矿等磁性矿物,再用重液选出锆石,最后在双目镜下选出锆石。锆石的分选由河北廊坊区域地质调查院完成。将锆石和标样一起粘在玻璃板上,用环氧树脂浇铸,制成薄片并抛光,并拍照正交偏光和阴极发光照片,然后,在离子探针 SHRIMP-RG 上测定锆石的 U、Th、Pb 同位素含量及定年。样品制备、正交偏光和阴极发光照像以及 SHRIMP 定年均在美国斯坦福大学离子探针实验室完成^[22]。实验中选择的标准样为 R33(419±1.1 Ma),数据

的误差范围±1。数据处理使用美国 Berkeley 地质年代学中心 Kenneth R. Ludwig 编制的计算程序。

从北山榴辉岩中采集的样品中挑选出约 100 余粒锆石。锆石粒度在 0.1 mm 左右,主要为浑圆状、短柱状,长宽比小于 1.5:1。激光拉曼光谱研究表明锆石中包裹体矿物主要有两类:绿辉石+石榴石等高压变质有关的矿物组合,以及石英+斜长石等高压变质前的矿物组合。前者无论在矿物的边部和核部,均有分布,这类锆石不显示任何生长纹,属较为典型的榴辉岩相变质成因锆石(图 4-a),SEM 能谱分析(EDS)表明绿辉石中 Na₂O 含量约 5%,换算成硬玉分子数(Jd)为 33%~36%;石榴石中的铁铝榴石含量 55%~59%,钙铝榴石含量 22%~26%,镁铝榴石含量 14%~19%(表 1,图 5),与岩石中的石榴石十分接近。第二类矿物主要分布在锆石的残核中(图 4-b)。

分别对样品锆石的残核和增生边做了离子探针分析,共完成了 19 粒锆石的 20 个点分析(表 2,图 5)。将数据投在 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 与 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 一致线图上(图 6-a),变质锆石的所有点几乎都落在一致曲线附近,并显示 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄集中在 800~900 Ma,13 个测点平均值为(819±21) Ma(图 6-b),指

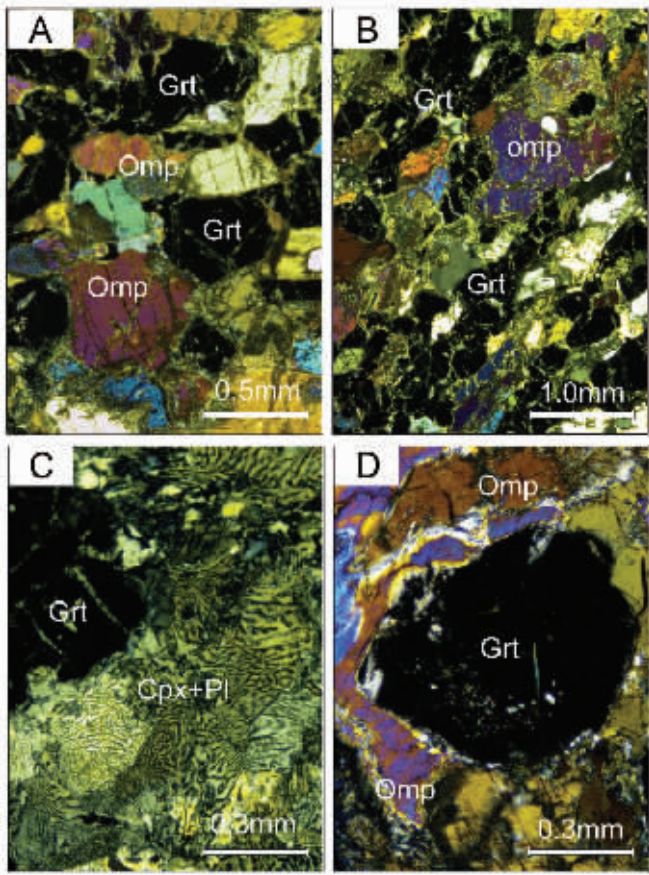


图 3 北山榴辉岩显微镜下特征

- A—等粒结构新鲜榴辉岩主要由石榴石(Grt)和绿辉石(Omp)组成;
 B—石榴石变形拉长、呈方向性排列;
 C—退变榴辉岩中绿辉石被单斜辉石(Cpx)+斜长石(Pl)替代;
 D—石榴石中保留早期的包裹体矿物

Fig.3 Photomicrographs of the Beishan eclogite

(A) Fresh eclogite with equigranular texture consisting predominantly of garnet (Grt) and omphacite (Omp); (B) Eclogite is elongated and oriented; (C) Omphacite in degrading eclogite is replaced by the clinopyroxene (Cpx) and plagioclase (Pl); (D) Early-stage inclusion minerals preserved in eclogite

示一次主要地质事件。它们的 Th/U 比值十分低,主要在 0.1 左右(表 2),显示变质成因锆石的一个主要特点^[23]。结合锆石中含有绿辉石和石榴石等榴辉岩相的变质矿物,认为该年龄代表了榴辉岩相的变质年龄。该 13 个数据有可能进一步分成 $(874 \pm 14) \text{Ma}$ 和 $(812.3 \pm 5.4) \text{Ma}$ 两组年龄数据,反映榴辉岩相变质作用的不同阶段,但本文研究程度不够,不予细讨论。此外,20 个测点中有 2 个测点给出年龄为 $(1001.96 \pm 2.58) \text{Ma}$ 和 $(1012.71 \pm 36.93) \text{Ma}$, 平均 $(1007 \pm 20) \text{Ma}$, 它们为核部残留的锆石。但它们的 Th/U 比值分别为 0.8 和 0.06, 并且 CL 影像也分别显示深色和浅色两种色调, 认为残留锆石的来

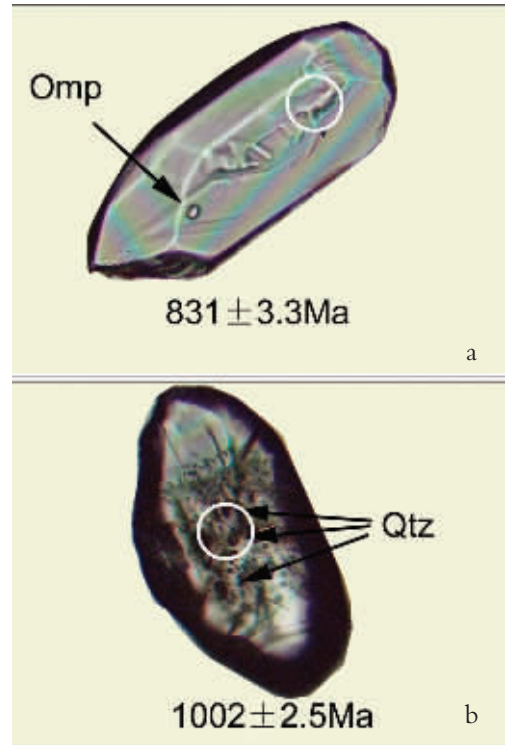


图 4 榴辉岩锆石中包裹体矿物

- a—榴辉岩相高压矿物 Omp;
 b—老核保留 Qtz 等低压相早期包裹体矿物

Fig.4 Two types of mineral inclusion in zircons from the Beishan eclogite

a—Eclogite-facies high-pressure mineral omphacite (Omp);
 b—Lower-pressure early-stage inclusion minerals such as quartz (Qtz) preserved in the older core

源有可能不同。此外,另有 1 粒锆石的年龄为 $(438 \pm 9.8) \text{Ma}$, 该测点数据在一致线的下方,表明它们或多或少都有 Pb 丢失^[24-25]。

由此,可以得出榴辉岩相的高压变质事件发生在新元古代,主要在 820 Ma 左右;榴辉岩的原岩很可能来自 1000 Ma 左右的不同岩石类型。

3 结论与地质构造意义

北山榴辉岩所处的北山南带中产有大量基性超基性岩和斜长花岗岩,反映该带可能是一个板块边界。研究表明北山榴辉岩相的变质年龄发生在新元古代,与花岗质围岩锆石给出的 880Ma 的 U-Pb 谐和年龄^[12]及斜长花岗岩的 850Ma 一致^[14],进一步支持该地区存在新元古代构造事件的认识。

这里需要强调的是,在与北山相邻的祁连山柴北缘榴辉岩的研究中,也发现了新元古代构造事件的信息。该地榴辉岩原岩年龄分别为 $800 \sim 750 \text{Ma}$ 和 $\sim 1000 \text{Ma}$, 其超高压变质

表 1 北山榴辉岩锆石中绿辉石、石榴石和钠长石等包裹体矿物成分 (%)
Table 1 Compositions of mineral inclusions of omphacite, garnet and albite in zircons from the Beishan eclogite (%)

点号	Omphacite		Garnet			Albite	
	6-1omp01	6-1omp02	3-1grt	3-2 grt	3-3 grt	4-1Ab01	10-1Ab01
SiO ₂	54.60	54.60	38.22	36.89	37.62	67.91	68.81
Al ₂ O ₃	7.71	8.35	20.45	20.84	21.08	18.87	20.10
TiO ₂							
Cr ₂ O ₃							
FeO	9.36	9.46	28.33	27.49	26.26	1.04	
MnO				1.72	0.56		
MgO	8.42	8.66	4.98	3.86	4.91	0.82	
CaO	13.98	14.50	8.39	9.35	9.57	1.09	0.92
Na ₂ O	5.06	4.64				11.15	10.97
K ₂ O							
Total	99.13	100.21	100.37	100.15	100.00	100.88	100.80
Si	2.009	1.988	6.007	5.869	5.920	2.965	2.979
^{IV} Al	(0.009)	0.012	(0.007)	0.131	0.080	0.971	1.026
^{VI} Al	0.343	0.346	3.795	3.777	3.829		
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.288	0.288	3.724	3.658	3.456	0.034	0.000
Mn ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.232	0.075	0.000	0.000
Mg	0.462	0.470	1.167	0.916	1.152	0.053	0.000
Ca	0.551	0.566	1.413	1.594	1.614	0.051	0.043
Na	0.361	0.328	0.000	0.000	0.000	0.944	0.921
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.005	3.997	16.099	16.177	16.125	5.018	4.968
Jd	35.69	33.11					
Alm			59.08	57.16	54.89		
And			0.00	0.00	0.00		
Gro			22.414	24.908	25.628		
Pyr			18.511	14.308	18.295		
Spe			0	3.622	1.186		

注: Omphacite-绿辉石, Garnet-石榴石, Albite-钠长石, Jd-硬玉, Pyr-镁铝榴石, Gro-钙铝榴石, Alm-铁铝榴石 Spe-锰铝榴石, 矿物通过激光拉曼识别, 成分采用扫描电镜能谱分析, 均在国土资源部大陆动力学重点实验室完成。

表 2 甘肃北山地区榴辉岩的锆石的 U-Pb 同位素定年数据

Table 2 SHRIMP U-Pb isotope dating of zircons from the eclogite in the Beishan region, Gansu

测点	U (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	误差(%)	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	误差(%)	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	误差(%)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	误差(%)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Ma)	误差 (Ma)
04Y186-1	20.81	0.07	0.00	0.07	2.24	14.06	2.24	0.30	21.01	0.06	5.36	438.79	9.80
04Y186-2	19.74	3.86	0.20	0.15	2.08	6.79	2.08	0.05	6.84	0.07	3.56	880.10	17.97
04Y186-3.1	17.58	1.60	0.09	0.15	2.18	6.87	2.18	0.07	9.39	0.07	4.85	876.47	18.80
04Y186-3.2	69.36	7.81	0.11	0.14	1.10	7.32	1.10	0.05	5.00	0.07	2.03	822.88	8.90
04Y186-4	54.99	6.70	0.12	0.14	1.23	7.35	1.23	0.04	5.65	0.07	2.22	816.03	9.92
04Y186-5	13.08	1.03	0.08	0.12	2.63	8.03	2.63	0.06	13.07	0.07	5.14	750.98	19.45
04Y186-6	124.00	28.79	0.23	0.11	0.87	9.19	0.87	0.03	3.55	0.06	1.82	665.11	5.70
04Y186-7	163.85	10.37	0.06	0.17	0.70	5.88	0.70	0.05	4.41	0.07	1.17	1012.71	6.93
04Y186-8	22.32	2.58	0.12	0.14	1.97	7.38	1.97	0.05	8.74	0.07	3.75	816.51	15.76
04Y186-9	505.95	427.42	0.84	0.13	0.41	7.47	0.41	0.04	2.69	0.07	0.77	808.01	3.28
04Y186-10	26.72	3.91	0.15	0.14	1.80	7.28	1.80	0.05	7.00	0.07	3.39	826.78	14.65
04Y186-11	1374.23	826.16	0.60	0.17	0.25	5.90	0.25	0.06	0.51	0.08	0.39	1001.96	2.58
04Y186-12	731.93	13.70	0.02	0.16	0.37	6.40	0.37	0.12	2.79	0.07	0.61	930.34	3.40
04Y186-13	15.53	1.79	0.12	0.14	2.36	7.25	2.36	0.06	11.59	0.08	4.13	822.42	19.17
04Y186-14	32.94	5.00	0.15	0.14	1.63	7.22	1.63	0.05	6.20	0.07	2.94	831.00	13.34
04Y186-15	19.77	2.07	0.10	0.14	2.05	6.94	2.05	0.06	8.40	0.07	3.66	864.53	17.38
04Y186-16	17.14	2.21	0.13	0.14	2.19	6.94	2.19	0.06	8.71	0.07	3.98	866.01	18.55
04Y186-17	24.25	3.28	0.14	0.15	1.88	6.84	1.88	0.05	7.34	0.07	3.33	879.88	16.21
04Y186-18	17.11	4.06	0.24	0.12	2.31	8.68	2.31	0.04	7.66	0.07	4.56	696.97	15.88
04Y186-19	20.28	2.83	0.14	0.15	2.29	6.82	2.29	0.06	7.78	0.07	3.59	879.04	19.72
04Y186-20	14.08	1.07	0.08	0.12	2.79	8.44	2.79	0.42	8.23	0.17	6.75	628.25	23.15

注: SHRIMP 分析在美国斯坦福大学完成。

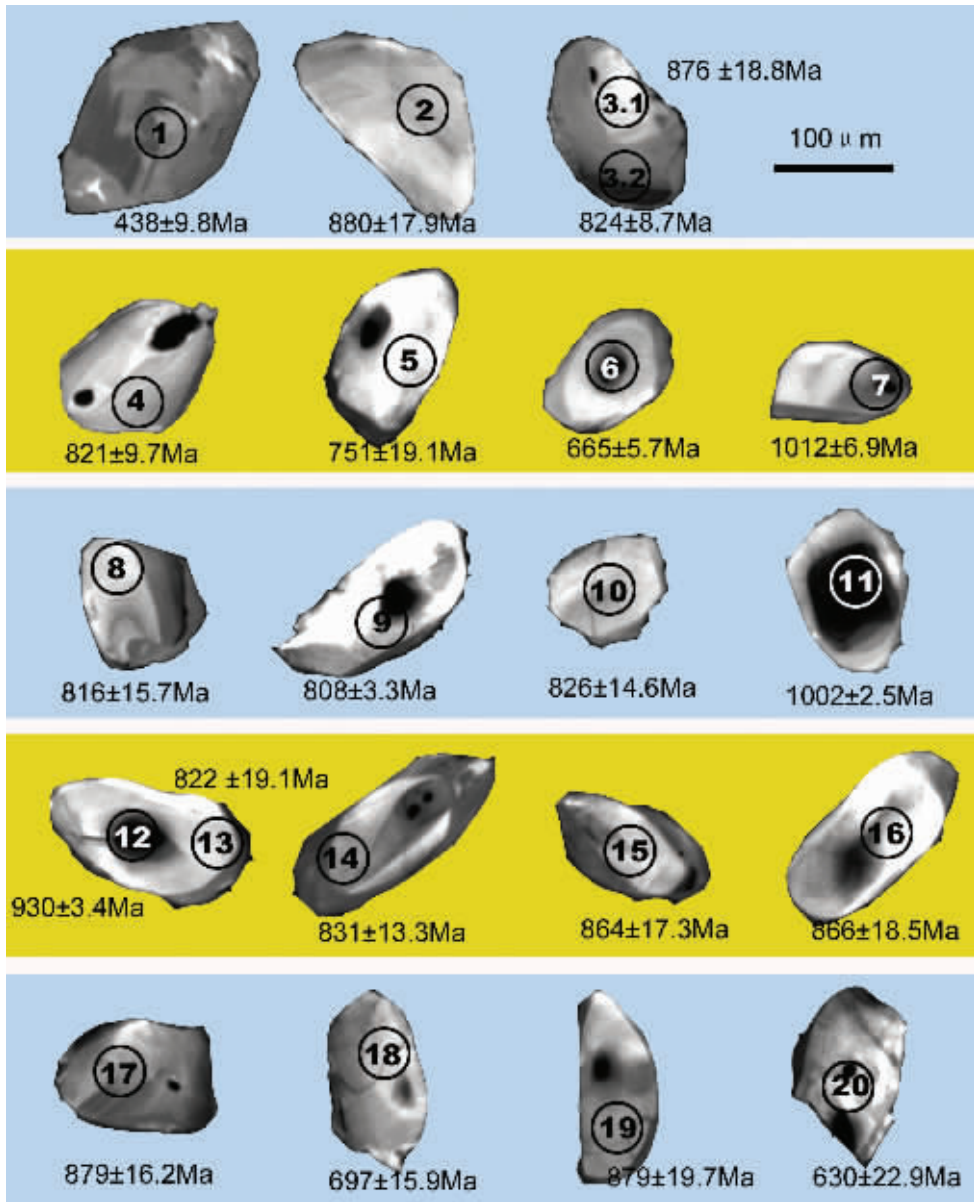


图5 北山榴辉岩锆石的阴极发光影像和年龄

Fig.5 Cathodoluminescence images and SHRIMP U-Pb ages of zircons from the Beishan eclogite

年龄为 500~440 Ma^[5,8,15,26],并且在柴北缘发现一套新元古代的蛇绿岩组合,形成时代为 (768±39)Ma (Rb-Sr)和 (780±22)Ma (Sm-Nd)^[1]。榴辉岩的岩石化学成分和 Nd 同位素组成,以及 800~750Ma 的原岩时代与这套新元古代蛇绿岩可以对比,初步认为它们属同一套岩石。据此,认为大约 1000 Ma 前后,柴北缘拼合成 Rodinia 大陆的一部分;这部分的 Rodinia 大陆在 800~750 Ma 发生裂解,形成了一个新的洋盆,洋盆的闭合形成新元古代的蛇绿岩组合及同时期的一些花岗岩^[1]。

北山榴辉岩的榴辉岩相变质时代为 820 Ma,原岩的时代

约 1000 Ma,与柴北缘同时期发生的 Rodinia 大陆的拼合和裂解形成洋盆的时间一致,说明两者在大地构造背景和成因上可能存在某种联系。由此推测,北山地区可能与祁连地区相同,大约在 1000 Ma 前发生的格林威尔 (Grenville) 造山作用期间曾拼合成 Rodinia 大陆的一部分。此后,在 Rodinia 大陆之上,北山和祁连之间及祁连和柴达木之间分别发生了新元古代的裂解和洋盆的形成,从此北山地区和祁连山地区分开并分别经历了不同的演化历史。

致谢:野外考察是在 2004 年国庆节期间完成的。大陆动力学实验室 5 人及俄罗斯科学院地质研究所的构造地质学

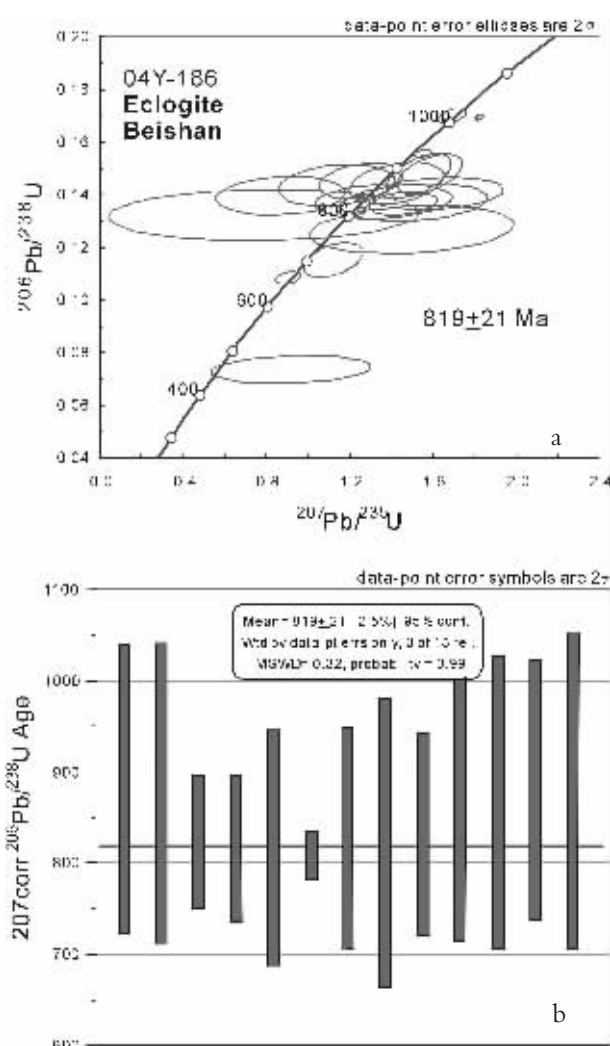


图 6 北山榴辉岩(样品 04Y-186)锆石的 U-Pb 谐和曲线图; 上图显示锆石的 U-Pb 年龄主要在约 820 Ma, 下图为榴辉岩相锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄直方图 (分析在美国斯坦福大学 SHRIMP 实验室完成)

Fig.6 SHRIMP U-Pb concordia plots of zircons from the Beishan eclogite (sample 04Y-186). The upper plot shows that the zircon U-Pb ages are mainly ~ 820 Ma; and the lower plot is an eclogite-facies zircon SHRIMP U-Pb age histogram (completed at the SHRIMP laboratory of Stanford University, United States

家 Elena Constantinovskaya 女士, 在甘肃地矿局左国朝先生和西安地矿所吴汉泉先生陪同下, 由兰州地震局驾驶员严和平、刘玉福和王伟驾驶 3 辆高级越野车, 在完成了祁连山的考察后, 又考察了北山的榴辉岩和有关的地质现象。不幸的是, 由严和平师傅驾驶的 4500 沙漠王越野车发生了翻车, 司机和车中的杨经绥、史仁灯和俄罗斯教授均严重受伤。经过一年的治疗和恢复, 杨经绥和史仁灯基本恢复了正常工作; 俄罗斯教授脑部受伤, 虽然经俄罗斯和法国最好的医院治

疗, 但时常还出现头痛等不适; 严和平师傅经过长期治疗, 虽然身体已基本恢复正常, 但行为举止的变化还是明显的, 这已是万幸。车祸发生后, 得到敦煌人民医院全力救助, 国土资源部、中国地质调查局、中国地质科学院和中国地质科学院地质研究所各级领导和同事关心与照料, 得以康复, 在此深表感激。锆石中矿物包裹体成分和激光拉曼分析由锆石 SHRIMP 测试所分析美国斯坦福大学 Wooden 协助, 在此也表示衷心感谢。

参考文献 (References):

- [1] 杨经绥, 张建新, 孟繁聪, 等. 中国西部柴北缘——阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 201~314.
Yang Jingsui, Zhang Jianxin, Meng Fancong, et al. Ultrahigh pressure eclogites of North Qaidam and Altun mountains, NW China and their protoliths [J]. Earth Sciences Frontier, 2003, 10 (3): 201~314 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李曙光, 葛宁洁, 刘德良, 等. 大别山北翼大别群中 C 型榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄及其构造意义[J]. 科学通报, 1989, 1: 522~525.
Li Shuguang, Ge Ningjie, Liu Deliang, et al. Sm-Nd isotopic ages of C-type eclogite of Dabie group in Northern Dabieshan [J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 1: 522~525 (in Chinese).
- [3] 杨建军. 中国东部山东和江苏北部的榴辉岩、辉石岩和有关的超基性岩[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 205~213
Yang Jianjun. Eclogites, Garnet, Pyroxenites and Related Ultrabasics in Shandong and North Jiansu of East China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991, 205~213 (in Chinese).
- [4] 徐树桐, 苏文, 刘贻灿, 等. 大别山东段高压变质岩中金刚石[J]. 科学通报, 1991, 36(17), 1318~1321.
Xu Shutong, Su Wen, Liu Yichan, et al. Diamond in high pressure metamorphic rocks in the east section of the Dabie Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(17): 1318~1321 (in Chinese).
- [5] 杨经绥, 宋述光, 许志琴, 等. 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[J]. 地质学报, 2001, 75 (2): 156~168.
Yang Jingsui, Song Shuguang, Xu Zhiqin, et al. Discovery of coesite in the North Qaidam Early Paleozoic ultrahigh -high pressure (UHP-HP) metamorphic belt, NW China [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (2): 156~168 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张建新, 万渝生, 孟繁聪, 等. 柴北缘夹榴辉岩的片麻岩(片岩)地球化学、Sm-Nd 和 U-Pb 同位素研究——深俯冲的前寒武纪变质基底? [J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 443~451.
Zhang Jianxin, Wan Yusheng, Meng Fancong, et al. Geochemistry, Sm-Nd and U-Pb isotope study of gneisses (schists) enclosing eclogites in the North Qaidam mountains—deeply subducted Precambrian metamorphic basement? [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(3): 443~451 (in Chinese with English abstract).
- [7] 刘良, 孙勇, 罗金海, 等. 阿尔金英格利萨依花岗质片麻岩超高压变质 [J]. 中国科学(D)辑, 2003, 33(12): 1184~1192.

- Liu Liang, Sun Yong, LuoJinhai, et al. Ultrahigh pressure metamorphism of Yinggelisayi granitic gneiss in Altun [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(12):1184~1192 (in Chinese).
- [8] 杨经绥, 许志琴, 裴先治, 等. 秦岭发现金刚石: 横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别 [J]. 地质学报, 2002, 76(4):484~495.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Pei Xianzhi, et al. Discovery of diamond in North Qingling: Evidence for a giant UHPM belt across Central China and recognitions of Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze plates [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(4):484~495 (in Chinese with English abstract).
- [9] 高俊, 张立飞, 刘圣伟. 西天山蓝片岩榴辉岩形成和抬升的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄记录 [J]. 科学通报, 2000, 45:89~94.
- Gao Jun, Zhang Lifei, Liu shengwei, et al. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age record of formation and uplift of the blueschists and eclogites in the western Tianshan Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45:89~94 (in Chinese).
- [10] 张立飞, David J. Ellis, 艾永亮, 等. 新疆西天山超高压变质榴辉岩 [J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(4):371~386.
- Zhang Lifei, David J E, Ai Yongliang, et al. Ultra-high pressure metamorphic eclogite in western Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Minerologica, 2002, 21(4):371~386 (in Chinese with English abstract).
- [11] 倪志耀, 翟明国, 王仁民, 等. 华北古陆块北缘中段发现晚古生代退变榴辉岩 [J]. 科学通报, 2004, 49(6), 585~591.
- Ni Zhiyao, Zhai Mingguo, Wang Renmin, et al. Discovery of Neopaleozoic degrading eclogite in north of Huabei block [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(6):585~591 (in Chinese).
- [12] 梅华林, 于海峰, 李铨, 等. 甘肃北山地区首次发现榴辉岩和古元古花岗质岩石 [J]. 科学通报, 1998, 43(19):2105~2111.
- Mei Hualin, Yu Haifeng, Li Quan, et al. The first discovery of eclogite and Palaeoproterozoic granitoids in the Beishan area, northwestern Gansu province, China [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(4):356~361.
- [13] 左国朝, 何国琦. 北山板块构造及成矿规律 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.1~226.
- Zuo Guochao, He Guoqi. Plate Tectonics and Ore Formation in the Beishan Region [M]. Beijing: Peking University Press, 1996. 1~226 (in Chinese).
- [14] 杨雨. 甘肃北山红柳园地区发现早元古代地层 [J]. 甘肃地质科技情报, 1997, (3):39~418.
- Yang Yu. Discovery of early Proterozoic strata in the Hongliuyuan region, Beishan Mountains [J]. Geological Science and Technology Information, 1997, (3):39~418 (in Chinese).
- [15] 张建新, 张泽明, 许志琴, 等. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄——阿尔金构造带中加里东期山根存在的证据 [J]. 科学通报, 1999, 44(10):1109~1112.
- Zhang Jianxin, Zhang Zeming, Xu Zhiqin, et al. Sm-Nd and U-Pb ages of the eclogites in the western Altun belt: evidence of the Caledonian mountain base existence [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(10):1109~1112 (in Chinese).
- [16] 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 等. 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定——罗迪尼亚大陆裂解的证据? [J]. 地质通报, 2004, 23(9):534~542.
- Yang Jingsui, Shi Rendeng, Wu Cailai, et al. Recognition of Neoproterozoic ophiolite on the northern margin of the Qaidam basin: evidence of the breakup of Rodinia? [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9):534~542 (in Chinese with English abstract).
- [17] 甘肃省地质局. 1:20 万红柳园幅地质图 [M]. 北京: 地质出版社, 1966.
- Geology Bureau of Gansu Province. 1:200000 Geological Map of Houliuyuan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1966.
- [18] Coleman R G, Lee L D, Beatty L B. Eclogites and eclogites: their differences and similarities [J]. Geological Society of American Bulletin, 1965, 76, 483~508.
- [19] 刘晓春, 吴淦国, 陈柏林, 等. 甘肃北山榴辉岩的变质历史 [J]. 地球学报, 2002, 23(1):25~29.
- Liu Xiaochun, Wu Ganguo, Chen Bolin, et al. Metamorphic history of eclogites from Beishan, Gansu Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(1):25~29 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘福来, 许志琴, 宋彪. 苏鲁超高压变质带中非超高压花岗质片麻岩的准确识别: 来自锆石微区矿物包体及 SHRIMP U-Pb 定年的证据 [J]. 地质学报, 2003, 77(4):533~539.
- Liu Fulai, Xu Zhiqin, Song Biao. Precise restriction of Non-UHP granitic gneiss from the UHP metamorphic belt in the Sulu terrane, Eastern China: evidence from mineral inclusions, cathodoluminescence images and SHRIMP U-Pb dating in zircon domains [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(4):533~539 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘福来, 杨经绥, 许志琴. 苏鲁地体副片麻岩锆石微区的矿物包体及其对 SHRIMP 定年的意义 [J]. 中国科学(D辑), 2004, 34(3):219~227.
- Liu Fulai, Yang Jingsui, Xu Zhiqin. Mineral inclusions in zircons from the paragneiss in Sulu and their significance in SHRIMP dating [J]. Science in China (Series D), 2004, 34(3):219~227 (in Chinese).
- [22] Barth A P, Wooden J L, Coleman D S. SHRIMP-RG U-Pb zircon geochronology of Mesoproterozoic metamorphism and plutonism in the southwesternmost United States [J]. Journal of Geology, 2001, 109:319~327.
- [23] Gebauer D, Lappin M A, Gruenenfelder M, et al. The age and origin of some Norwegian eclogites: a U-Pb zircon and REE study [J]. Chemical Geology, 1985, 52(2):227~247.
- [24] Kroner A, Jaeckel P, Williams I S. Pb-loss patterns in zircons from a high-grade metamorphic terrain as revealed by different dating methods, U-Pb and Pb-Pb ages of igneous and metamorphic zircons from northern Sri Lanka [J]. Precambrian Research, 1994, 66:151~181.
- [25] Vavra G. Systematics of internal zircon morphology in major Variscan granitoid types [J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1999, 127:111~121.

ogy, 1999, 117:331~334.

[26] 张建新, 杨经绥, 许志琴, 等. 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 [J]. 地球化学, 2000, 29(3):217~222.

Zhang Jianxin, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, et al. Peak and retrograde age of eclogites at the northern margin of Qaidam basin north-western China: evidences from U-Pb and Ar-Ar dates [J]. *Geochimica*, 2000, 29(3):217~222 (in Chinese with English abstract).

Neoproterozoic eclogitic metamorphic age of the Beishan eclogite of Gansu, China: Evidence from SHRIMP U-Pb isotope dating

YANG Jing-sui¹, WU Cai-lai¹, CHEN Song-yong¹, SHI Ren-deng¹, ZHANG Jian-xin¹, MENG Fan-cong¹, ZUO Guo-chao², WU Han-quan³, Elena Constantinovskaya⁴

(1. Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of Land and Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Gansu Institute of Geology and Mineral Resources, Lanzhou 730000, Gansu, China;

3. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

4. Institute of Geology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia)

Abstract: The Beishan orogen is located at the junction between the Tarim-Sino-Korean and Kazakhstan plates, and its main orogenic event occurred in the Early Paleozoic. Eclogites are associated with ultramafic-mafic rocks and collisional granites in the south belt of the Beishan orogen, which suggests that this belt might represent a plate boundary. SHRIMP U-Pb isotope dating of zircons from the Beishan eclogite yielded an eclogite-facies metamorphic age of 819 ± 21 Ma and a protolith age of 1007 ± 20 Ma, indicating an important plate breakup and subduction-collision event in the Neoproterozoic. Recently an event of Neoproterozoic plate breakup and ophiolitic oceanic crust formation has also been reported in the North Qaidam marginal area in the southern Qilian Mountains adjacent to the Beishan, suggesting the occurrence of a regional breakup event in a Neoproterozoic oceanic basin in western China, which is called the Rodinian Supercontinent breakup event. However, it should be emphasized that the eclogitic-facies metamorphism in the Beishan took place in the Neoproterozoic, while that for the North Qaidam marginal eclogite occurred in the Early Paleozoic (500-440 Ma) though its protolith is the Neoproterozoic oceanic crustal rock, suggesting another subduction-collision event after the Neoproterozoic subduction-collision event in the Beishan.

Key words: Beishan, Gansu; eclogite; high-pressure metamorphism; Neoproterozoic; SHRIMP

About the first author: YANG Jing-sui, male, born in 1950, senior researcher and director of doctor students, mainly engaged in the study of petrology; E-mail: yangjsui@ccsd.org.cn.