

柴北缘沙柳河榴辉岩 岩石化学及变质条件研究

王新宇¹, 李盛富^{1,2}, 鄢全树¹

(1. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 核工业 216 队, 新疆 乌鲁木齐 830011)

[摘要] 柴达木盆地北缘东端沙柳河一带榴辉岩呈布丁构造赋存在新元古代末期花岗质片麻岩中, 榴辉岩主要由石榴子石、绿辉石和金红石等矿物组成。通过对该地榴辉岩的岩石化学和变质条件研究, 发现其峰期变质条件为 $492.12\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 653.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1.008 \sim 1.625\text{ GPa}$, 未达到超高压的环境, 在岩石中也未发现明显的超高压证据, 与柴达木盆地北缘其他地区(鱼卡河、锡铁山、野马滩)榴辉岩有所区别。

[关键词] 柴达木盆地北缘; 榴辉岩; 超高压; $P-T$ 条件; 柴达木盆地

[中图分类号] P588.3 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)01-0014-05

[作者简介] 王新宇(1981-), 男, 湖北松滋人, 硕士研究生, 从事矿物学、岩石学、矿床学研究。

榴辉岩如出现柯石英或金刚石等特征矿物, 表明其变质作用压力高于 2.8 GPa , 变质作用发生在地表以下 100 km 处, 属超高压变质岩。中国大别山地区出露大面积含柯石英榴辉岩, 局部还发现含金刚石榴辉岩^[1,2]。大别超高压变质岩除榴辉岩外, 还有副变质岩, 如原岩为沉积岩的大理岩和硬玉石英岩。该岩石中, 变质成因的锆石晶体中含柯石英, 表明表壳岩曾一度从地表深俯冲到上地幔深处, 即发生大陆深俯冲, 在相当于上地幔深度的构造部位发生了超高压变质作用^[3]。因此, 榴辉岩的形成, 不论其是高压或是超高压成因, 一般都曾发生过板块间的俯冲作用。榴辉岩的出露与展布地段, 可能是一个古老的地缝合带。发现和研究榴辉岩岩石学、矿物学、形成条件和年代, 可以了解俯冲板块的构造过程和缝合带的形成年代, 为探讨特定地区构造演化提供重要参考资料。

继早期在秦岭杂岩北侧和大别山北侧发现加里东期榴辉岩后, 又于近期相继在阿尔金山、柴达木盆地北缘发现加里东期(4.9 亿年左右)榴辉岩^[3~13], 并初步发现了超高压变质的证据^[4,13]。据此, 有学者认为, 从阿尔金山—柴达木盆地北缘—

秦岭—大别山构成了一条横贯东西长 $4\,000$ 余千米的巨型古板块缝合带^[10], 代表了早古生代中期中国南北板块的地质构造分界线。

1 区域地质背景

柴达木盆地北缘构造带是一条呈北西西—南东东向延伸 700 km 左右的大型韧性剪切带, 南邻柴达木地块, 北接祁连地块, 西抵阿尔金山构造带。该韧性剪切带的主要岩石是前人划分的古元古界达肯大坂群。达肯大坂群是指一套由各种片麻岩、片岩、大理岩、角闪岩等组成的强变形、深变质岩系^[14]。带内还分布由含碳板岩—千枚岩、大理岩组成的蓟县系万洞沟群, 以角度不整合关系上覆于达肯大坂杂岩花岗质片麻岩之上的裂陷槽型沉积震旦系全吉群, 及以火山岩为主夹含大理岩等的奥陶系滩间山群^[14]。自1998年杨经绥等报道在柴达木盆地北缘柴旦地区发现榴辉岩, 张建新、张雪亭、宋述光等又相继在锡铁山、都兰北部沙柳河和野马滩地区发现典型的榴辉岩, 并在其中找到部分超高压的证据。

沙柳河地区主要出露早元古代达肯大坂群、奥陶系滩间山群和晚泥盆统牛山组地层, 以及被拟定为沙柳河群的新元古代眼球状花岗质片麻岩, 其也作为榴辉岩的围岩^[15](图1)。

[收稿日期] 2004-02-25

[基金项目] 中国地质调查局地质调查项目(200113000062)

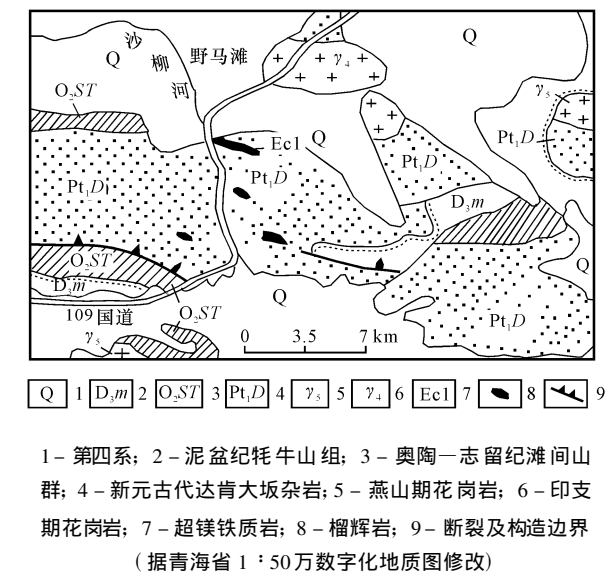


图 1 柴达木盆地北缘沙柳河区域地质简图
Fig.1 Geological sketch map of the Shaliuhe area in northern margin of Qaidam Basin

2 各地区榴辉岩产出特征和岩相学

2.1 都兰北部地区榴辉岩

榴辉岩呈透镜状出露于都兰北东40~50 km新元古代花岗片麻岩和超镁铁质岩中,沿109国道可见两个规模不等的榴辉岩岩片,单个岩片长150 m,宽50 m左右。空间上可分为南北两个带,北带在野马滩,南带在沙柳河。北带榴辉岩具明显的构造平行化现象,与围岩发生韧性剪切变形;南带榴辉岩露头新鲜,次生面理不甚发育,与围岩界限清楚,与超基性岩、花岗片麻岩为断层或构造布丁、镶嵌式接触。据榴辉岩的野外产状及岩石组合进一步分两种类型:一种是以包体形式独立赋存于新元古代^[14]花岗质片麻岩之中,包体长轴方向与区域片麻理一致;另一种是与变基性-超基性岩共生,二者又以似脉状或透镜状构造布丁赋存于花岗质片麻岩中(图2)。

通过北带野马滩榴辉岩样品的岩相学观察发现超硅绿辉石和超钛金红石(图3),即绿辉石中有针状石英出熔,石榴子石中有金红石的出熔。杨经绥等^[9]在野马滩首次发现多晶透长石+多晶石英(柯石英假象)呈包裹体产于榴辉岩石榴子石和绿辉石中。宋述光等^[16]也在该地区榴辉岩石榴子石中发现放射状裂纹的石英+方解石包裹体,可能是柯石英+文石的退变产物,这些都是该地区榴辉岩经过超高压变质的证据。

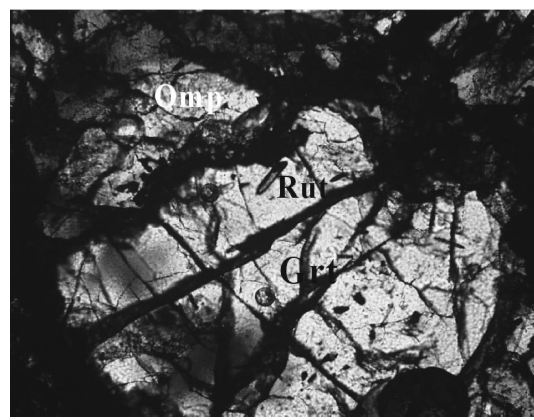


图 2 榴辉岩峰期矿物组合(沙柳河)
Fig.2 Peak mineral assemblage of eclogite(Shaliuhe)

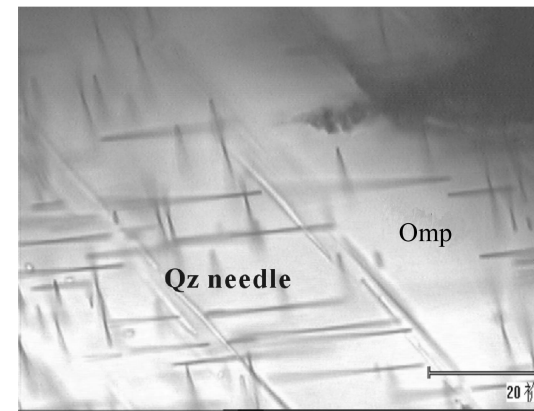


图 3 绿辉石中针状石英出熔(野马滩)
Fig.3 Needle quartz in omphacite(Yematan)

2.2 锡铁山榴辉岩

锡铁山榴辉岩呈数米到近百米的透镜状块体,分布在含矽线石的片麻岩中。露头岩石不新鲜,大多数已经退变为石榴麻粒岩和石榴角闪岩。张建新等^[15]在该地区榴辉岩绿辉石发现针状石英出熔条带,认为是先前超高压条件稳定的超硅单斜辉石出熔的结果。

2.3 绿梁山胜利口榴辉岩

绿梁山榴辉岩与变基性-超基性岩共生,呈透镜状产于片麻岩围岩中。超基性岩岩石类型主要有石榴橄榄岩、石榴辉石岩、石榴辉石橄榄岩及纯橄榄岩等。该地区的榴辉岩遭受强烈地退变质作用,许多榴辉岩已经变成石榴角闪岩、石榴斜长角闪岩或含绿辉石石榴角闪岩。值得注意的是,该地区出露新鲜的石榴辉石岩,辉石为翠绿色的铬透辉石。

2.4 大柴旦鱼卡河榴辉岩

在鱼卡河边3.5 km左右的达肯大坂杂岩花岗质片麻岩剖面中,发现了10多个规模不等的榴辉岩透镜体,小者仅0.5 m×1 m,大者宽达10~

20 m、长断续延伸150 m左右。榴辉岩的围岩花岗质片麻岩中还含少量表壳岩残体,如变粒岩(原中酸性火山岩)、石墨片麻岩、红柱石片麻岩等。榴辉岩透镜体排列方向性较好,平行于围岩的片麻理和区域构造线方向,片麻理倾向北东 20°,倾角 70°。榴辉岩露头岩石新鲜,呈灰绿色,致密坚硬,在露头上凸起于灰白色片麻岩上。榴辉岩为灰绿色,中、细粒等粒结构,块状构造。镜下显示一些新鲜榴辉岩,由石榴子石(40%~50%)、绿辉石(40%~

50%)及少量角闪石、多硅白云母、石英、榍石和金红石组成。李怀坤等^[13]在该地区达肯大坂杂岩花岗质片麻岩中发现典型的含柯石英榴辉岩。榴辉岩主要由石榴子石、绿辉石和少量(多硅)白云母、柯石英和石英、角闪石、金红石等矿物组成。

3 岩石化学

榴辉岩矿物主量元素探针分析结果见表 1。

表 1 沙柳河榴辉岩代表性矿物成分

Table 2 Statistics of major elements of representative minerals of eclogite in Shaliuhe											$w_B/\%$
样号点	产物及产状	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	FeO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
1	绿辉石	56.727	5.433	0.017	9.166	8.878	0	15.808	4.821	0	100.95
2	绿辉石	56.011	5.478	0.009	9.653	8.347	0	15.786	5.012	0.007	100.308
3	绿辉石	56.434	5.565	0.012	9.526	8.565	0.004	15.673	4.905	0	100.684
4	普通角闪石	50.714	9.907	0.224	13.52	12.09	0.038	9.211	3.573	0.353	99.631
5	多硅白云母	54.161	29.09	0.331	2.928	2.014	0	0	0.404	10.08	99.003
6	多硅白云母	54.815	28.712	0.256	3.041	2.197	0.007	0.039	0.471	9.83	99.368
7	石榴子石边部	39.534	20.521	0.02	2.118	26.02	0.257	12.631	0.003	0.006	100.81
8	石榴子石	39.318	20.166	0.05	2.534	26.95	0.107	10.432	0.013	0.004	100.58
9	石榴子石	39.508	20.261	0.118	1.218	26.36	0.563	12.899	0	0.008	100.93
10	石榴子石	39.185	20.184	0.164	1.173	27.2	1.308	11.302	0.053	0	100.57
11	石榴子石	39.219	19.947	0.674	1.011	26.57	1.943	11.489	0.057	0.004	100.91
12	石榴子石核部	38.845	19.311	1.593	0.794	24.53	3.481	11.611	0.069	0.008	100.24
13	石榴子石	38.939	19.856	0.145	0.915	25.57	3.811	11.16	0.157	0.014	100.57
14	石榴子石	39.565	20.547	0.118	1.171	26.53	1.859	11.398	0.15	0	101.34
15	石榴子石	39.234	20.034	0.142	1.108	27.66	0.981	11.468	0.016	0	100.64
17	石榴子石	39.308	20.136	0.087	1.139	27.08	0.538	12.23	0.027	0.026	100.57
18	石榴子石	39.66	19.825	2.043	1.686	25.97	0.31	12.039	0.013	0	101.54

样号点	矿物及产状	Si	Al	Ti	Mg	Fe	Mn	Ca	Na	K	Total
19	绿辉石	2.05	0.24	0	0.49	0.27	0	0.62	0.34	0	6
20	绿辉石	2.04	0.234	0	0.52	0.25	0	0.62	0.36	0	6
21	绿辉石	2.045	0.24	0	0.51	0.26	0	0.61	0.34	0	6
22	普通角闪石	7.15	1.68	0.03	2.79	1.45	0	1.42	0.86	0.06	23
23	多硅白云母	6.88	4.35	0.04	0.55	0.21	0	0	0.1	1.64	22
24	多硅白云母	6.93	4.28	0.03	0.57	0.23	0	0.01	0.12	1.58	22
25	石榴子石边部	3.08	1.93	0	0.24	1.65	0.02	1.03	0	0	12
26	石榴子石	3.09	1.913	0.005	0.29	1.79	0.01	0.86	0	0	12
27	石榴子石	3.08	1.907	0.01	0.14	1.74	0.04	1.05	0	0	12
28	石榴子石	3.085	1.913	0.01	0.13	1.81	0.08	0.93	0	0	12
29	石榴子石	3.07	1.887	0.05	0.11	1.76	0.13	0.94	0	0	12
30	石榴子石核部	3.055	1.833	0.115	0.09	1.64	0.23	0.95	0.02	0	12
31	石榴子石	3.075	1.893	0.01	0.1	1.71	0.25	0.92	0.02	0	12
32	石榴子石	3.08	1.993	0.01	0.13	1.75	0.12	0.93	0.02	0	12
33	石榴子石	3.08	1.9	0.01	0.13	1.84	0.06	0.94	0	0	12
34	石榴子石	3.08	1.907	0.005	0.13	1.8	0.03	1	0	0	12
35	石榴子石边部	2.99	1.72	0.28	0.18	1.66	0.02	1.03	0	0	12

表 1 对石榴子石样号点 1 ~ 11 是从边部到核部再到边部。从得出的数据可看到, 该区的石榴子石是以铁铝榴石和钙铝榴石为主(表 2), 并且从核部到边部有明显环带结构, 核部的锰铝榴石明显比边部高, 而铁铝榴石、钙铝榴石和镁铝榴石都显出核部低的趋势, 石榴子石的生长环带可能是其生长环境不同造成的。

表 2 沙柳河榴辉岩石榴子石成分

Table 2 Statistics of garnet components of eclogite in Shaliuhe

样号	Fe	Mg	Mn	Ca
1	1.65	0.24	0.02	1.03
2	1.79	0.29	0.01	0.86
3	1.74	0.14	0.04	1.05
4	1.81	0.13	0.08	0.93
5	1.76	0.11	0.13	0.94
6	1.64	0.09	0.23	0.95
7	1.71	0.10	0.25	0.92
8	1.75	0.13	0.12	0.93
9	1.84	0.13	0.06	0.94
10	1.80	0.13	0.03	1.00
11	1.66	0.18	0.02	1.03

样号	X _{alm}	X _{pyr}	X _{sps}	X _{grs}
1	0.561224	0.081633	0.006803	0.350340
2	0.606780	0.098305	0.003390	0.291525
3	0.585859	0.047138	0.013468	0.353535
4	0.613559	0.044068	0.027119	0.315254
5	0.598639	0.037415	0.044218	0.319728
6	0.563574	0.030928	0.079038	0.326460
7	0.573826	0.033557	0.083893	0.308725
8	0.597270	0.044369	0.040956	0.317406
9	0.619529	0.043771	0.020202	0.316498
10	0.608108	0.043919	0.010135	0.337838
11	0.574394	0.062284	0.006920	0.356401

通过对绿辉石分析得出的化学数据, 再经过计算可得到绿辉石中硬玉(Jd)、霓辉石(Acm)和普通辉石(Aug)摩尔分数分别为 30.6%, 4.5%, 64.9%(图 4)。

从表 1 可看到, 云母中 $w(\text{SiO}_2) > 54\%$, 并且晶体化学式中以 22 个氧原子计算得出的硅 > 6.6 个, 为典型多硅白云母。多硅白云母是一种富硅的白云母变种, $w(\text{SiO}_2)$ 可达 50%, 是低温高压的典型变质矿物。

4 温压条件

通过 Krough^[11] 提出的 Grt Cpx 地质温度计以及利用多硅白云母地质压力计和绿辉石中硬玉的

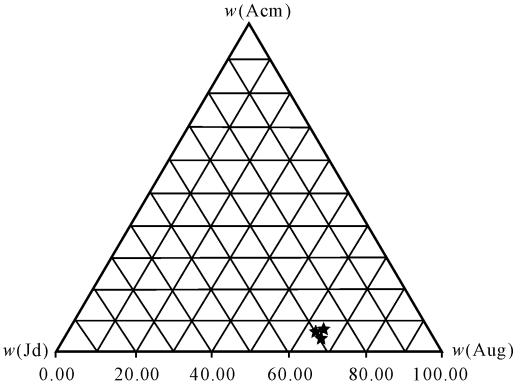


图 4 Acm Jd Aug 成分三角图

Fig. 4 Trignon diagram of Acm Jd Aug component

含量变质反应压力计(Holland, 1980)计算压力, 得到榴辉岩的峰期变质温压为 492.12 °C ~ 653.48 °C 和 1.008 ~ 1.115 GPa, 1.625 GPa 两组压力。利用石榴子石从核部到边部的数据与绿辉石配对计算得到温度有明显上升的趋势, 说明榴辉岩受到后期进变质作用。本区榴辉岩的峰期变质条件明显比大柴旦地区(620 °C ~ 730 °C, 3.3 GPa)^[13]、野马滩地区(624 °C ~ 735 °C, 2.0 ~ 2.8 GPa)^①及锡铁山地区(770 °C ~ 850 °C, > 1.4 GPa)^②的变质条件都低。

5 同位素地质年代学

张建新等^④ 对大柴旦鱼卡河榴辉岩中锆石 U - Pb 测定显示, $w(^{206}\text{Pb})/w(^{238}\text{U})$ 表面年龄统计权重平均值为 $(494.6 \pm 6.5) \text{ Ma}$, 代表榴辉岩的峰期变质作用年龄。同样榴辉岩样品的多硅白云母选用于 $w(^{39}\text{Ar}) - w(^{40}\text{Ar})$ 年代学测定, 获得的坪年龄为 $(466.7 \pm 1.2) \text{ Ma}$, 等时线年龄为 $(465.9 \pm 5.4) \text{ Ma}$, 代表榴辉岩在退变质过程中的冷却年龄。李怀坤等^[13] 利用鱼卡河含柯石英假象榴辉岩两个全岩样品及榴辉岩中选出的石榴子石(2 个)、绿辉石和金红石共计 6 个样品点进行了 Sm - Nd 年龄测定, 得出了 $(545 \pm 8) \text{ Ma}$ ($\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 3.1$) 的等时线年龄; 其对上述含柯石英假象榴辉岩中的白云母(多硅)进行了 $w(^{39}\text{Ar}) - w(^{40}\text{Ar})$ 测定, 得出的坪年龄为 $(559.6 \pm 0.7) \text{ Ma}$ 。郝国杰等^⑦ 从沙柳河榴辉岩中得到颗粒锆石 U - Pb 年

① 宋述光, 杨经绥, 许志琴, 等. 祁连山体南缘榴辉岩带超高压变质的证据. 海峡两岸第二次地学研讨会, 2001.

② 张建新, 杨经绥, 许志琴, 等. 中国西北柴北缘两种不同类型榴辉岩. 海峡两岸第二次地学研讨会, 2001.

龄(484 ± 3) Ma, 可能代表榴辉岩相变质年龄。杨经绥等^[3]对都兰地区北部榴辉岩的单颗粒锆石 SHRIMP 定年表明, 都兰北带榴辉岩的峰期变质作用发生在 462 ~ 487 Ma, 南带榴辉岩发生在 443 ~ 495 Ma。以上证据证明, 柴北缘存在一条巨型加里东期的高压-超高压构造带与大别构造带相对应, 为中央造山带的西延提供了证据。

6 结论

在都兰北部沙柳河到大柴旦鱼卡河长达 400 km 加里东榴辉岩带的 4 个典型榴辉岩出露地区中, 只有沙柳河地区没有发现典型的超高压证据。通过对沙柳河地区榴辉岩的矿物组合进行温压计算, 发现该区榴辉岩的峰期变质条件明显比其他地区低, 并非超高压环境, 该结论与前人的认识有所不同, 特别是鱼卡河和沙柳河地区榴辉岩的赋存围岩都是新元古代花岗质片麻岩, 陆松年等^[14]定名为沙柳河岩群, 而在鱼卡河地区前人却发现大量明显超高压证据^[3, 13], 这是否表示沙柳河地区处于构造带的最南端, 其俯冲深度未到超高压的条件就折返了, 还是该地区根本不属于这条超高压变质带, 其结论尚需进一步验证。

[参 考 文 献]

- [1] Su Wen, Xu Shutong, Jiang Laik, et al. Coesite from the Dabie Shan eclogites, Central China[J]. *Eur J Mineral*, 1989, (1): 595 ~ 598
- [2] 徐树桐, 苏文, 刘贻灿, 等. 大别山东段高压变质岩中的金剛石[J]. *科学通报*, 1991, 36(17): 1318 ~ 1321.
- [3] 杨经绥, 宋述光, 许志琴, 等. 柴达木盆地北缘早古生代-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): 175 ~ 179
- [4] 宋述光, 杨经绥, 柴达木盆地北缘都兰地区榴辉岩中透辉石+石英包裹体: 超高压变质作用的证据[J]. *地质学报*, 2001, 75(2): 180 ~ 186
- [5] 许志琴, 柴达木北缘超高压变质带折返的时限与机制[J]. *地质学报*, 2003, 77(2): 163 ~ 176
- [6] 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.
- [7] 郝国杰, 陆松年, 李怀坤, 等. 柴北缘沙柳河榴辉岩岩石学及年代学初步研究[J]. *前寒武纪研究进展*, 2001, 24(3): 154 ~ 161.
- [8] Jianxin Zhang, Zeming Zhang, Zhiqin Xu. Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altyn Tagh, Northwestern China[J]. *Lithos*, June 2000; 187 ~ 205
- [9] 张雪亭, 吕惠庆, 陈正兴, 等. 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[J]. *青海地质*, 1999, (1): 1 ~ 13
- [10] 杨经绥, 许志琴, 宋述光, 等. 青海都兰榴辉岩的发现及对中国中央造山带内高压-超高压变质带研究的意义[J]. *地质学报*, 2000, 74(2): 156 ~ 168.
- [11] Krough T E. The garnet clinopyroxene Fe Mg Geothermometer: a reinterpretation of existing experimental data[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1988, 99: 44 ~ 48
- [12] 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩[J]. *科学通报*, 1998, 43(14): 1544 ~ 1549.
- [13] 李怀坤, 陆松年, 赵凤清, 等. 柴达木盆地北缘鱼卡河含柯石英榴辉岩的确定及其意义[J]. *现代地质*, 1999, 13(1): 43 ~ 50
- [14] 陆松年, 于海峰, 赵凤清, 等. 青藏高原北部前寒武地质初探[M]. 北京: 地质出版社, 2002
- [15] 辛后田, 郝国杰, 王惠初, 等. 柴北缘前震旦纪地层系统的新认识[J]. *前寒武研究进展*, 2002, 25(2): 113 ~ 119
- [16] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志(区域地质)[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

Research into petrochemistry and metamorphic condition of eclogites on Shaliuhe, the north margin of the Qaidam Basin

WANG Xin-Yu¹, LI Sheng-fu^{1,2}, YAN Quan-shu¹

(1. Faculty of Earth Sciences China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Geological party No. 216, CNNC, Ürümqi 830011, China)

Abstract The eclogite was found in the Neoproterozoic granitic gneiss in Shaliuhe, the north margin of the Qaidam Basin. It occurs in shape of lens or boundins and mainly composed of garnet, omphacite and rutile etc. Based on the reseach into petrochemistry and metamorphic condition of the eclogites here, we found its peak metamorphic conditions is $492.12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $653.48 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1.008 \sim 1.625 \text{ GPa}$, not achieve the UHP environment, and no evident UHP evidence was found in eclogites here, it is distinct from the other eclogite outcrop places(Yuqiahe, Xitieshan, Yematan) in the north Qaidam Basin.

Key words north qaidam basin; eclogite; ultra high pressure; $P-T$ conditions; Qaidam Basin

[英文审定: 周军]