

大别超高压变质地体四道河地区岩石学研究

鄢全树¹, 钟增球², 周汉文²

(1. 中国地质大学 研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 对四道河地区超高压变质岩剖面的研究分析显示, 该剖面有3种岩石类型: 榴辉岩类、片麻岩和面理化含榴花岗岩。榴辉岩具不同程度的退变质现象, 呈透镜体状产于斜长角闪岩、片麻岩和面理化含榴花岗岩中, 原生矿物组合为石榴石、绿辉石、柯石英和金红石。榴辉岩退变为斜长角闪岩近于等化学系列; 片麻岩在主要成分上与榴辉岩及其退变产物(斜长角闪岩)存在突变关系, 但微量元素与榴辉岩有一定的相似性; 面理化含榴花岗岩主要元素和微量元素地球化学特点为: 富SiO₂、K₂O+Na₂O和高价阳离子Ga、Y以及REE, K₂O/Na₂O值低, 贫Al、Ca、Mg、Ti、P, 结合构造环境、同位素及年代学资料分析, 其应属于后碰撞造山A型花岗岩。基于以上认识推断: 大陆板片俯冲至上地幔经历了超高压变质作用, 表壳岩变质形成榴辉岩; 当超高压变质岩石折返至中下地壳时发生强烈的减压退变质作用形成斜长角闪岩, 随后, 与片麻岩及面理化含榴花岗岩一道从中下地壳向地表进一步折返, 并一同经历了后期的变质变形作用。

关键词: 超高压变质地体; 岩石学; 四道河; 大别

中图分类号: P588.3; P581

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)03-0186-11

Petrology of Sidaohe area in UHP metamorphic terrane, the Dabie Mountains

YAN Quan_shu¹, ZHONG Zeng_qiu² and ZHOU Han_wen²

(1. Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on a study of Sidaohe area in UHP metamorphic terrane within the Dabieshan Mountains, it is discovered that there exist three types of rock associations, namely eclogite, gneiss and foliated garnet-bearing granites. Eclogites underwent retrograde metamorphism of different degrees, and amphibolites seem to be retrograded products from eclogites. Gneiss is the country rock of eclogites, and there exist mutational relationships in major element components. Major and trace elements and REE in foliated garnet-bearing granites are characterized by enrichment of SiO₂, K₂O+Na₂O, Ga, Y and REE components and depletion of K₂O/Na₂O, Al, Ca, Mg, Ti and P. Combined with Rb-Hf-Ta diagram and isotopic and geochronologic data, it is held that this type of granites belong to post-collisional A-type granites. Based on the above evidence, the authors have reached the conclusions that continental slab underwent UHP metamorphism and produced eclogites during its subduction to the depth of the upper mantle, that extensive decompression retrograde occurred in UHP metamorphic rocks and produced amphibolites when UHP slab migrated to the middle and lower crust, and that the UHP slab, together with gneiss and foliated garnet-bearing granites, further moved from the middle and lower crust to the surface and experienced subsequent metamorphism and deformation.

收稿日期: 2004-03-16; 修订日期: 2005-02-05

基金项目: 国家重点基础研究发展项目(G1999075506); 国家自然科学基金资助项目(43072094, 40073005); 中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助项目

作者简介: 鄢全树(1976-), 男, 硕士, 主要从事变质地质学研究。

Key words: UHP metamorphic terrane; petrology; Sidaohe; Dabieshan Mountains

大别造山带因其出露大面积的超高压变质岩而被世界地学界瞩目,超高压变质岩的地球动力学背景目前已趋向一致的认识,即超高压变质岩是印支期中朝克拉通与扬子克拉通斜向碰撞的产物。大别山造山带岩石矿物学的研究已取得丰硕成果(Okay, *et al.*, 1989; 徐树桐等, 1992; Zhang and Liou, 1993, 1995; 刘景波等, 1997; 从柏林等, 1999; Zhong *et al.*, 1999; Carswell *et al.*, 2000; 叶凯, 2001; Liu *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2003; Faure *et al.*, 2003; 刘福来等, 2003; 索书田等, 2003)。但是,只有少数学者对超高压变质单元内出露的空间关系比较密切的各类岩石作为整体去研究(Carswell *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2003; Faure *et al.*, 2003; Rolfo *et al.*, 2004; 游振东等, 2004),榴辉岩与围岩片麻岩的关系目前仍然存在较大的分歧,同时,超高压变质单元内广泛出露的面理化石榴花岗岩的成因及其与榴辉岩的关系等问题的存在,严重制约着超高压变质

岩石折返模式的建立。本文在详细的野外地质调查基础上对超高压变质地体四道河地区一个完整剖面所出露的岩石从岩相学和岩石化学的角度进行了研究,期望为超高压板片折返模式的建立提供线索。

1 地质概况和采样位置

大别山造山带位于中朝克拉通与扬子克拉通接壤地带,其东南缘被郟-庐断裂所切割,可与苏鲁造山带相连,西越过南襄盆地可与秦岭造山带接壤。选用钟增球等(1999)的划分方法,大别造山带内部岩石可被分为 5 个岩石构造单元(图 1):核杂岩单元(CC)、超高压变质单元(UHP)、高压变质单元(HP)、绿帘蓝片岩单元(EB)和未变质的沉积盖层。各单元之间以韧性剪切带分割,超高压地体就挟持在基底核部杂岩与高压单元之间。四道河地区就位于此超高压单元中(图 1)。

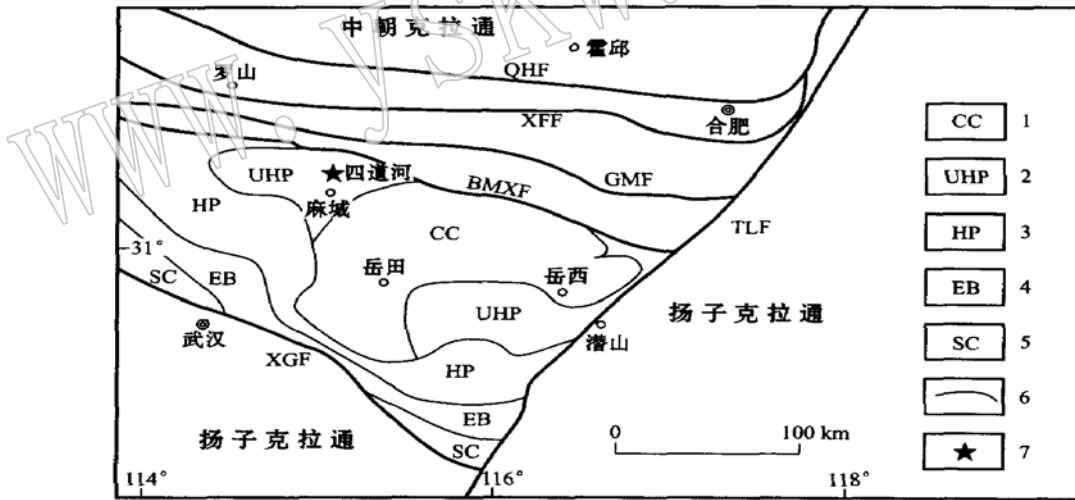


图 1 大别造山带地质简图(据钟增球等, 1999)

Fig. 1 Geological sketch map of Dabieshan orogenic belt (after Zhong Zengqiu *et al.*, 1999)

- 1—核杂岩单元; 2—超高压单元; 3—高压单元; 4—绿帘蓝片岩单元; 5—沉积盖层; 6—地质界线; 7—工作及取样区; QHF—确山-合肥断裂; XFF—信阳-肥西断裂; GMF—龟山-梅山断裂; BMXF—八里畈-晓天-磨子潭断裂; XGF—襄樊-广济断裂
- 1—core complex unit; 2—UHP unit; 3—HP unit; 4—EB unit; 5—sedimentary cover; 6—geological boundary; 7—working area; QHF—Queshan_Hefei fault; XFF—Xinyang_Feixi fault; GMF—Guishan_Meishan fault; BMXF—Balifan_xiaotian_Mozitan fault; XGF—Xiangfan_Guangji fault

本文对四道河采石场剖面(图 2)做了系统的样品采集。在此剖面中,可清楚地看到榴辉岩呈透镜体状分布于斜长角闪岩、片麻岩以及大面积出露的面理化石榴花岗岩中,且与斜长角闪岩、片麻岩和面

理化石榴花岗岩一同经历了后期的变形作用,面理化石榴花岗岩与片麻岩呈渐变过渡关系,而这些岩石与榴辉岩透镜体呈渐变过渡关系。

采样位置及样品编号见图 2。R1616、R1618 和

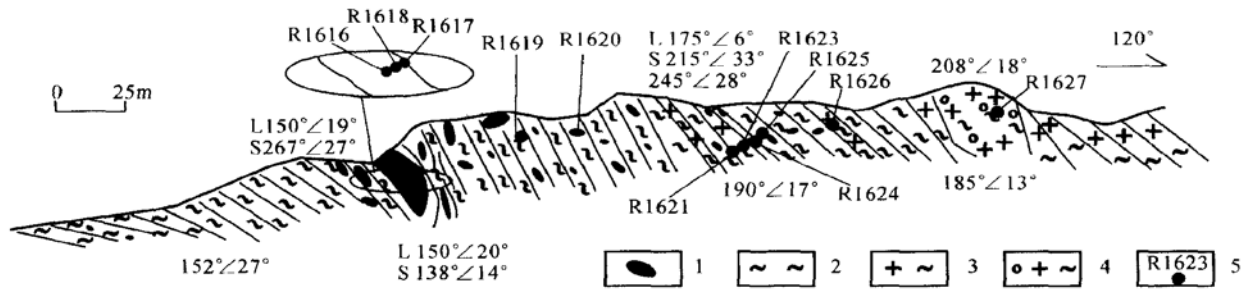


图2 麻城县四道河采石场剖面图

Fig. 2 Cross section of Sidaohe quarry in Macheng County

1—榴辉岩透镜体; 2—片麻岩; 3—面理化含榴花岗岩; 4—白眼圈花岗岩; 5—采样点及编号

1—ecologic lens; 2—gneiss; 3—foliated garnet-bearing granite; 4—eyeball-shaped granite; 5—sampling site and its serial number

R1617 分别位于大榴辉岩透镜体的核部、幔部和边部。R1620 为小榴辉岩透镜体的完全退变质产物(斜长角闪岩)。R1619、R1621、R1624 为片麻岩, R1623 为熔融重结晶细粒花岗质岩石, R1625 为熔融结晶粗粒花岗质岩石, R1626 为面理化含榴花岗岩, R1627 为与超高压岩石呈似侵入接触的面理化含榴花岗岩, 石榴石斑晶的周边有一圈白色的斜长石。

2 岩相学特征

2.1 榴辉岩透镜体

本区榴辉岩均以透镜体的形式产出片麻岩中, 除大的榴辉岩透镜体的核部外, 都经历了不同程度的退变质作用, 在露头上可以清晰地辨认出从核部到边部由新鲜的榴辉岩-榴闪岩-榴辉岩质斜长角闪岩的渐变过渡关系。

榴辉岩(R1616): 位于透镜体的核部, 岩石呈致密块状。镜下可见典型的超高压矿物组合: 石榴石(Grt) + 绿辉石(Omp) + 金红石(Rut) ± 柯石英(Coe) (图 3a), 局部可见多晶石英集合体(柯石英假像)。镜下石榴石中可见有榍石、锆石等矿物包裹体。绿辉石矿物晶界有角闪石等退变质矿物出现。岩石中还含有金红石、锆石和钛铁矿等, 其中金红石含量大于 6%。

榴闪岩(R1618): 位于透镜体的幔部, 岩石呈致密块状, 矿物呈弱定向排列, 为榴辉岩发生了一定程度退变质作用的产物。矿物组合为石榴石 + 多硅白云母(Phe) + 角闪石(Hb) + 斜长石(Pl) + 石英(Qz) (图 3b)。石榴石可见退变反应边, 矿物组合为角闪

石 + 钠长石(Ab)。绿辉石已完全退变。岩石中还有金红石、锆石和钛铁矿等矿物。

榴辉岩质斜长角闪岩(R1617): 位于榴辉岩透镜体的边部, 岩石呈致密块状, 矿物组合为石榴石 + 角闪石 + 绿辉石 + 斜长石 + 多硅白云母 + 石英 + 白云母(Mus)。矿物定向排列明显。石榴石发生了强烈的退变质作用, 呈不规则粒状。周边及裂纹处可见冠状边(斜长石 + 角闪石), 新生的角闪石呈定向排列, 斜长石可见聚片双晶。岩石中还有金红石、榍石、钛铁矿和锆石等矿物。

2.2 斜长角闪岩(R1620)

在四道河采石场剖面可以清晰的见到大小不等的已完全退变为斜长角闪岩的榴辉岩透镜体, 岩石呈深灰色, 致密, 发育片麻理。主要矿物组合为角闪石 + 斜长石 + 石英 + 白云母 + 黑云母(Bi) ± 绿辉石 ± 石榴石, 矿物定向排列明显。在镜下可以识别出两期变质作用: 第一期: 榴辉岩相超高压变质作用; 第二期: 角闪石 + 斜长石以反应边形式出现在石榴石和绿辉石的边部, 且金红石局部也被钛铁矿等含钛矿物所取代, 为角闪岩相退变质作用所致。

2.3 片麻岩

片麻岩是榴辉岩透镜体的直接围岩, 变形较为强烈。镜下矿物定向排列明显, 矿物组合为石英 + 黑云母 + 斜长石 + 角闪石 ± 白云母 ± 绿泥石(Chl) ± 绿帘石(Ep) ± 石榴石。镜下少见或不见石榴石, 次生的绿帘石 + 角闪石(或珍珠云母) ± 黑云母的斜长石集合体形成石榴石斑晶假像(图 3c), 表明岩石发生了一期退变质作用。

2.4 面理化含榴花岗岩

四道河地区出露的面理化花岗岩(R1623、

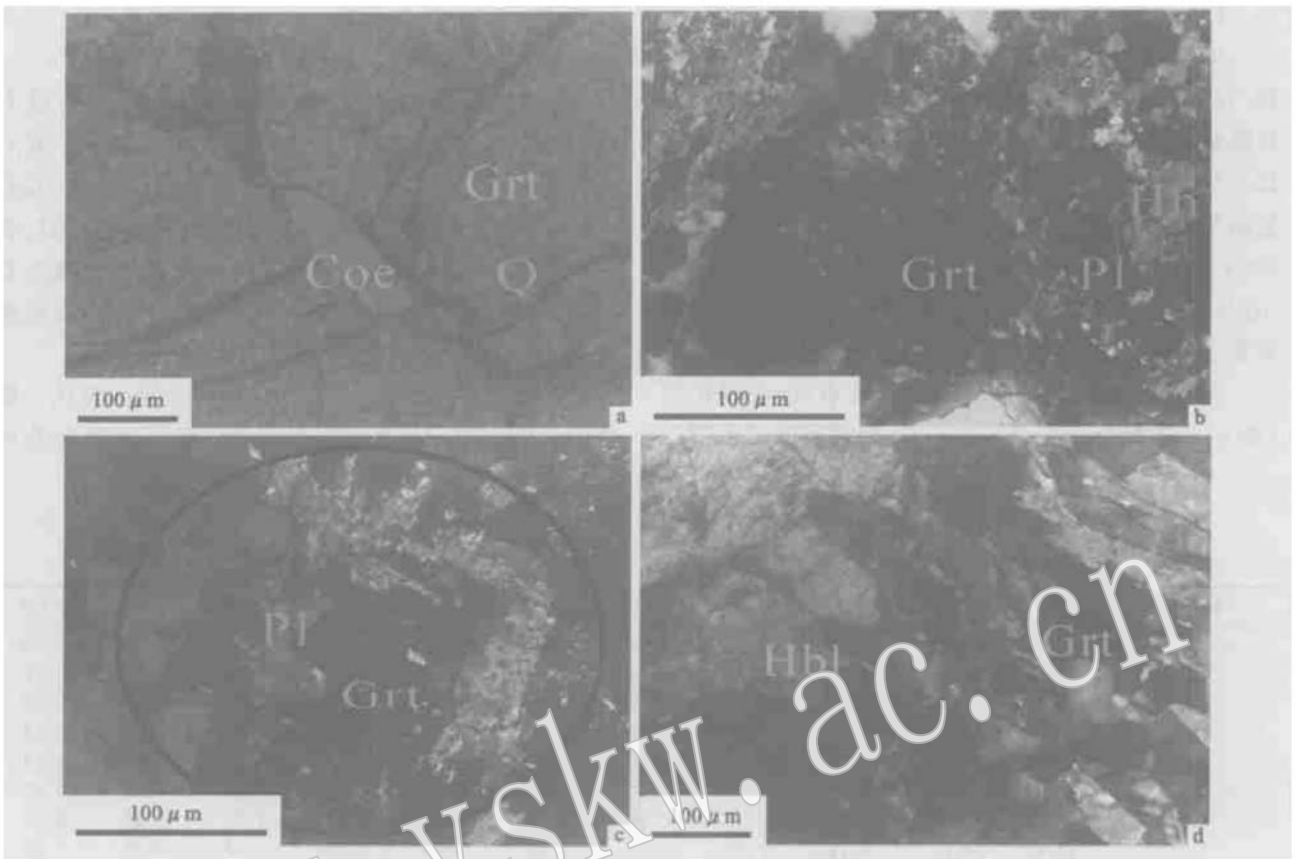


图 3 四道河地区岩石显微照片

Fig. 3 Microphotos of rock in Sidaohe area

a—榴辉岩,石榴石中的柯石英假像,单偏光;b—退变榴辉岩,石榴石呈孤岛状产出,其中有大量的角闪石和斜长石产出,正交偏光;

c—片麻岩,由黑云母+绿帘石+斜长石等组成石榴石斑晶假像,正交偏光;d—面理化含榴花岗岩,正交偏光

a—eclogite, coesite in garnet, single polarized; b—retrograde metamorphic eclogite, hornblendes and plagioclases in island-like garnet, cross polarized; c—gneiss, biotite+ epidote+ plagioclase, forming false form of eclogite, cross polarized; d—foliated garnet-bearing granite, cross polarized

R1625 及 R1626) 主要位于片麻岩的外围,面积较大,石榴石粒径约 0.1~ 0.5 mm。矿物呈弱定向排列,矿物组合为斜长石+石英+黑云母+石榴石+白云母±绿泥石±绿帘石(图 3d)。石榴石呈他形,大多呈筛状变晶结构或成为孤岛状碎粒组成的集合体,石榴石向角闪石及角闪石向绿泥石退变的特征清楚,可见磁铁矿、角闪石、黑云母和绿帘石等矿物组成的集合体,这些集合体具有石榴石的晶形轮廓。

3 岩石化学特征

3.1 主量元素地球化学特征

主量元素测试数据见表 1。

(1) 榴辉岩

SiO₂ 含量为 46.96%~ 55.73%, TiO₂ 为 0.88%

~ 2.66%, Al₂O₃ 为 13.51%~ 16.84%。K₂O+ Na₂O 为 2.85%~ 5.12%, 总体含量很低。K₂O/ Na₂O << 1, 为钠质碱性岩石, A/ CNK [Al₂O₃/ (CaO + Na₂O + K₂O)] 值为 0.65~ 0.78, 属于准铝质岩石。MgO 含量 3.9%~ 4.83%, Mg[#] [Mg/ (Mg + Fe²⁺)] 为 40.57%~ 49.36%。CaO 含量 7.13%~ 10.45%, CaO > MgO。

(2) 斜长角闪岩

主量元素含量与榴辉岩很相近,与榴辉岩近于等化学系列。SiO₂ 含量为 49.18%~ 49.64%, TiO₂ 含量为 1.0%~ 2.8%, Al₂O₃ 为 13.99%~ 15.12%。K₂O + Na₂O 为 2.35%~ 4.09%, 总量很低。K₂O/ Na₂O << 1, A/ CNK 值为 0.64, 属于亚铝质岩石。这表明榴辉岩向角闪岩退变是在接近于等化学系列情况下进行的。

(3) 片麻岩

榴辉岩围岩片麻岩的 SiO_2 含量为 67.11% ~ 73.43%, Al_2O_3 为 13.39% ~ 14.55%, 略低于榴辉岩和斜长角闪岩, 与面理化含榴花岗岩 (13.79% ~ 15.02%) 接近。 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 5.03% ~ 5.76%, 明显高于榴辉岩和斜长角闪岩, 也与面理化含榴花岗岩 (3.81% ~ 5.67%) 接近。在标准矿物的 Or-An-Ab 分类图解 (图 4) 中, 四道河榴辉岩围岩片麻岩成分相当于英云闪长岩, 具有奥长花岗岩演化趋势 (图 5)。 A/CNK 值为 0.96 ~ 1.04, 为准铝质-弱过铝质 (图 6)。主要位于拉斑玄武岩-钙碱性系列的范围内

(图 7)。

(4) 面理化含榴花岗岩

SiO_2 含量为 69.04% ~ 75.63%, TiO_2 含量为 0.38% ~ 1.13%, Al_2O_3 为 13.03% ~ 15.02%。 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 3.81% ~ 6.66%, 总量很低。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \ll 1$, 为钠质碱性岩石, A/CNK 值为 0.88 ~ 1.07, 属于准铝质-弱过铝质岩石 (图 6), 主要属于钙碱性系列 (图 7)。其主量元素与片麻岩具有相似性, 表明两者之间存在演化趋势。

3 类岩石在空间上共生, 从榴辉岩到面理化含榴花岗岩, 在 Harker 图解 (图 8) 上, 随 SiO_2 含量的增

表 1 四道河剖面系列样品的常量 ($w_B/\%$)、微量元素 ($w_B/10^{-6}$) 分析结果及相关参数Table 1 Whole rock analytical data of major ($w_B/\%$) and trace elements ($w_B/10^{-6}$) along Sidaohe cross section

样品号	R1616	R1618	R1617	R1620	R1619	R1621	R1623	R1624	R1625	R1626	R1627
SiO_2	46.96	53.63	55.73	49.43	73.43	73.27	69.04	67.11	67.94	65.04	75.63
TiO_2	2.66	2.26	0.88	1.00	0.49	0.43	0.37	0.60	0.50	1.13	0.38
Al_2O_3	15.18	13.51	16.18	15.12	13.39	13.56	15.02	14.55	14.42	13.79	13.03
Fe_2O_3	2.35	2.07	1.40	1.65	0.41	0.41	0.53	0.75	0.63	0.97	0.25
FeO	11.99	10.57	7.13	8.44	2.09	2.10	2.58	3.83	3.22	4.93	1.28
MnO	0.28	0.25	0.17	0.23	0.14	0.09	0.09	0.15	0.09	0.27	0.07
MgO	4.83	4.05	3.90	7.67	0.88	0.99	1.44	2.01	1.99	2.10	0.51
CaO	10.45	9.67	7.13	9.79	2.33	2.54	3.70	3.85	5.65	4.35	1.22
Na_2O	2.66	2.67	4.03	2.68	4.46	4.22	4.39	3.77	2.88	3.42	4.78
K_2O	1.11	0.21	1.09	1.29	1.30	1.30	1.28	1.72	0.93	1.97	1.88
P_2O_5	0.53	0.43	0.20	0.19	0.08	0.07	0.09	0.13	0.08	0.39	0.06
Lost	0.45	0.35	1.18	1.38	0.62	0.60	0.82	0.88	1.08	0.92	0.60
Total	98.50	98.67	99.02	98.87	99.62	99.58	99.55	99.35	99.41	99.28	99.69
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	2.77	2.88	5.12	3.97	5.76	5.52	5.67	5.49	3.81	5.39	6.66
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	0.04	0.08	0.27	0.48	0.29	0.31	0.29	0.46	0.32	0.57	0.39
A/CNK	0.65	0.66	0.78	0.64	1.03	1.04	0.98	0.96	0.90	0.88	1.07
$\text{Mg}^\#$	41.79	40.57	49.36	61.83							
La	1.38	3.04	4.21	2.94	13.70	15.00	32.40	21.30	26.50	17.50	20.60
Ce	4.52	8.89	10.10	7.37	30.00	32.40	66.30	44.00	52.80	38.30	42.90
Pr	0.66	1.57	1.44	1.03	4.38	4.67	8.49	6.04	7.27	5.57	5.70
Nd	3.86	8.28	6.39	4.83	18.30	19.40	31.90	22.50	27.90	23.80	21.40
Sm	1.82	2.86	1.60	1.59	4.46	4.64	6.57	4.71	5.91	5.78	4.22
Eu	0.93	0.99	0.50	0.53	1.10	1.11	1.66	1.43	1.74	1.94	1.07
Gd	3.65	3.88	1.75	2.03	4.46	4.33	6.74	5.34	6.06	6.86	4.24
Tb	0.97	0.92	0.31	0.44	0.79	0.67	0.96	0.87	0.85	1.45	0.58
Dy	6.63	6.54	1.91	2.98	5.74	4.25	5.21	5.64	4.40	9.97	2.96
Ho	1.46	1.49	0.44	0.72	1.43	0.88	1.03	1.32	0.86	2.16	0.50
Er	4.00	3.99	1.11	1.89	4.38	2.26	2.90	3.64	2.35	5.83	1.23
Tm	0.52	0.62	0.16	0.28	0.64	0.34	0.42	0.51	0.32	0.74	0.18
Yb	3.27	3.91	1.28	1.74	4.36	2.01	2.98	3.83	2.38	5.27	1.23
Lu	0.49	0.54	0.18	0.27	0.61	0.30	0.49	0.62	0.40	0.81	0.18
Nb/Ta	14.78	14.99	15.08	18.76	15.17	13.77	12.56	16.11	14.43	16.89	13.44
δEu	1.08	0.90	0.90	0.90	0.74	0.74	0.75	0.87	0.88	0.94	0.76
Zr/Nb	6.39	3.90	5.85	5.18	11.02	7.30	9.94	9.45	10.77	9.73	9.95
LREE/HREE	0.63	1.17	3.40	1.77	3.21	5.13	7.11	4.59	6.93	2.81	8.64
ΣREE	34.15	47.52	31.39	28.64	94.40	92.31	167.98	121.67	139.74	125.97	106.95
$(\text{La}/\text{Yb})_N$	0.29	0.53	2.24	1.15	2.13	5.07	7.38	3.77	7.57	2.25	11.36

续表 1

样品号	R1616	R1618	R1617	R1620	R1619	R1621	R1623	R1624	R1625	R1626	R1627
Be	1.04	1.07	0.74	1.28	1.47	1.38	1.53	1.79	1.08	1.44	1.42
Sc	50.8	40.7	13.9	34.3	11.7	12.3	14.2	19.2	15.2	25.1	11.4
V	380.0	308.0	66.4	254.0	30.4	53.6	81.7	103.0	97.7	130.0	19.4
Cr	223.0	114.0	52.1	691.0	14.4	33.2	34.0	64.8	53.9	43.1	11.0
Co	53.90	38.60	12.60	48.40	3.26	6.06	13.70	14.20	14.20	14.70	2.00
Ni	47.90	28.50	18.00	184.00	5.05	12.60	15.40	19.90	23.50	23.10	2.13
Cu	49.70	47.20	6.80	30.80	4.77	13.30	35.00	21.00	18.20	15.00	3.79
Zn	166.0	139.0	46.0	167.0	79.0	69.0	63.8	91.1	54.1	127.0	47.7
Ga	18.10	16.80	8.28	18.40	15.90	16.90	17.20	17.70	17.00	17.90	17.20
Rb	1.95	2.78	13.20	34.00	35.90	36.20	34.70	50.90	26.40	60.50	42.10
Sr	57.7	59.1	89.5	96.8	168.0	186.0	282.0	237.0	660.0	114.0	180.0
Y	37.8	35.2	11.3	18.1	33.0	20.3	25.2	32.1	22.0	56.1	13.9
Zr	50.5	28.4	15.1	22.5	70.1	45.2	73.9	69.7	66.5	92.4	80.9
Nb	7.91	7.28	2.58	4.35	6.36	6.19	7.43	7.38	6.17	9.50	8.13
Cs	0.078	0.090	0.360	3.070	0.730	1.000	1.000	1.270	1.310	1.720	0.960
Ba	10.7	15.4	151.0	328.0	323.0	234.0	246.0	635.0	422.0	443.0	417.0
Hf	1.32	0.87	0.52	0.65	1.97	1.21	2.15	1.73	1.74	2.41	2.28
Ta	0.54	0.49	0.17	0.23	0.42	0.45	0.59	0.46	0.43	0.56	0.60
Pb	4.19	3.63	4.02	5.48	8.75	6.87	9.66	9.32	16.20	6.99	9.90
Th			0.11	0.17	0.63	0.94	5.90	3.52	4.24	1.99	4.73
U	0.011	0.140	0.089	0.130	0.230	0.190	1.860	0.650	0.840	0.660	0.570

注: 全岩硅酸盐分析在湖北地矿测试中心完成, 微量元素与稀土元素分析由国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放研究实验室 ICP-MS 测定完成, 分析误差小于 5%~10%。

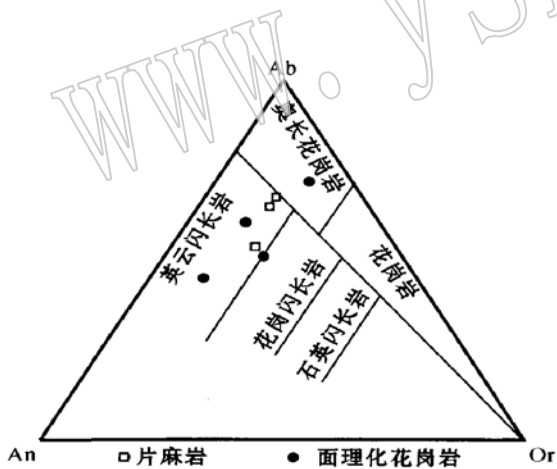


图 4 四道河片麻岩、花岗岩标准矿物分类图解 (据 O'Connor, 1965)

Fig. 4 Norm classification of gneiss and granite in Sidaohe (after O'Connor, 1965)

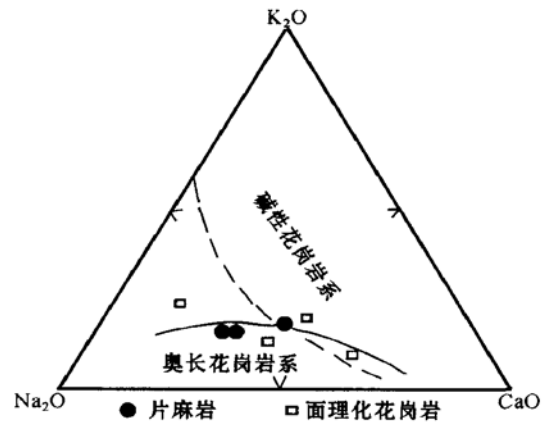


图 5 四道河片麻岩-面理化含榴花岗岩演化趋势图(据 Barker et al., 1979)

Fig. 5 Evolutionary trend diagram of paragneiss (UHP) and foliated garnet-bearing granite in Sidaohe (after Barker et al., 1979)

高, TiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 FeO 、 P_2O_5 等呈现一定的负相关关系, 而 K_2O 、 Na_2O 呈现正相关关系, 表明岩石在形成过程中成分上存在系统变异, 并且从基性到中酸性其碱性逐渐增强。

3.2 微量及稀土元素地球化学特征

微量及稀土元素数据见表 1。

(1) 榴辉岩

Nb/Ta 值为 13.00~16.24, 平均为 14.82。 Zr/Nb 值为 3.73~6.39, 平均为 5.12。在微量元素蛛网图(图 9a)上, 富集大离子亲石元素(LILE) Ba 以及高场强元素(HFS) Nb、Ta、Ti 等, 贫大离子亲石元素 Cs、Rb 及高场强元素 Zr、Hf 及 Pb。稀土元素总

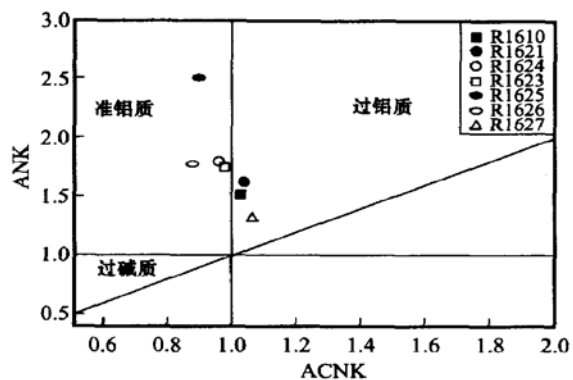


图 6 四道河片麻岩-面理化含榴花岗岩 Shand 指数图解 (据 Maniar *et al.*, 1989)
Fig. 6 Shand diagram of gneiss and foliated garnet-bearing granite in Sidaohe (after Maniar *et al.*, 1989)

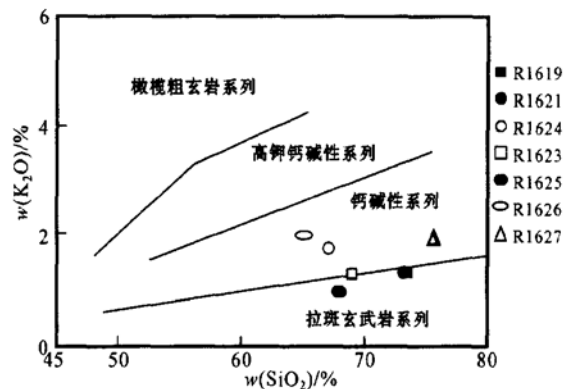


图 7 四道河片麻岩-面理化含榴花岗岩 K₂O-SiO₂ 图解 (据 Rickwood, 1989)
Fig. 7 K₂O versus SiO₂ diagram of gneiss and foliated garnet-bearing granite in Sidaohe (after Rickwood, 1989)

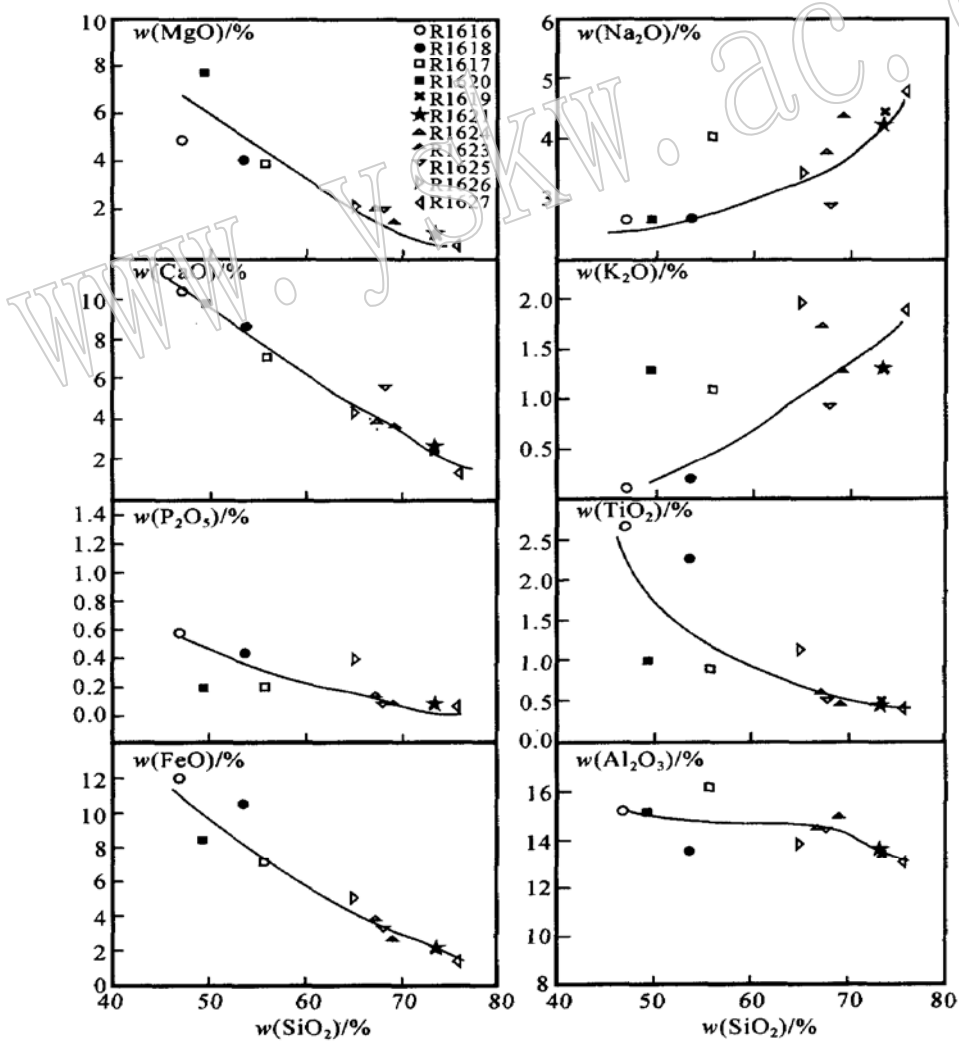


图 8 四道河剖面系列岩石的 Harker 图解
Fig. 8 Harker diagram for series of rocks along Sidaohe cross section

量为: 17.95~ 47.52 ($\times 10^{-6}$), 平均为 31.73×10^{-6} , $\times 10^{-6}$, LREE/HREE 值为 0.45~ 3.40, 平均为 1.4。(La/Yb)_N 为 0.29~ 2.24, 平均为 0.93, 总体轻重稀土分馏不明显。δEu 为 0.9~ 1.08, 平均为 0.97, 具微弱的负异常或无异常。从透镜体核部至边部, 样品主要表现为轻稀土元素逐渐富集, 稀土元素总量略有升高(图 10a)。

(2) 斜长角闪岩

微量元素地球化学特征(图 9a 中的点折线)与榴辉岩具有相似性。Nb/Ta 值为 18.01~ 18.76, 平均为 18.39。Zr/Nb 值为 5.18~ 5.39, 平均为 5.28。δEu 为 0.9~ 0.95, 平均为 0.93, 与榴辉岩相似。(La/Yb)_N 为 0.93~ 1.15, 平均为 1.04, 稍高于榴辉岩。ΣREE 为 28.63×10^{-6} ~ 31.03×10^{-6} , 平均为 29.83×10^{-6} , 总量偏低, 与榴辉岩大体相仿(图 10a)。从以上特征可以看出, 斜长角闪岩在微量元素方面的各种参数与榴辉岩相仿, 继承了榴辉岩微量元素的总体特征, 部分元素存在交代作用, 退变质作用过程中, Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素保持稳定, 与其原岩榴辉岩是一致的(图 9a)。这表明由榴辉岩退变的斜长角闪岩在地球化学特征上受原岩的控制, 这与稀土元素在地壳中的岩石退变过程中的行为完全一致。

(3) 片麻岩

Nb/Ta 值为 13.67~ 16.11, 平均为 14.69; Zr/Nb 值为 7.3~ 13.87, 平均为 10.73; Th/U 值为 2.70~ 5.68, 平均为 4.71; Rb/Nb 值为 3.98~ 6.90, 平均为 5.61, 在微量元素蛛网图(图 9b)上, 富集大离子亲石元素 Ba 以及 La、Ce、Nd 等中等不相容元素, 贫 Ti、Pb 元素等。Ti 的负异常可能与钛铁矿的分离结晶作用有关。ΣREE 为 92.31×10^{-6} ~ 190.99×10^{-6} , 平均为 115.75×10^{-6} , 总量明显高于榴辉岩及其相关的退变质产物, (La/Yb)_N 为 2.13~ 5.39, 平均为 4.16, LREE/HREE 为 3.21~ 6.21, 平均为 4.87, 分馏明显(图 10b)。δEu 为 0.68~ 0.87, 平均为 0.75, 负异常中等, 显示了壳源的特点。

(4) 面理化含榴花岗岩

四道河地区出露的面理化含榴花岗岩在微量元素地球化学特征方面与片麻岩存在着相似性。在微量元素蛛网图(图 9c)上, 在 Ba、Th、U 以及中等不相容元素 La、Ce、Tb 及 Nd 元素等处出现峰, 在 K 以及高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 以及 Ti 元素处出现微弱的谷, P 呈现强烈的负异常。Ti 的负异常可能与钛铁矿的分离结晶作用有关, P 的负异常可能与磷灰石分离结晶有关。ΣREE 为 106.95×10^{-6} ~ 167.98×10^{-6} , 平均为 135.14×10^{-6} , 总量比片麻岩略高,

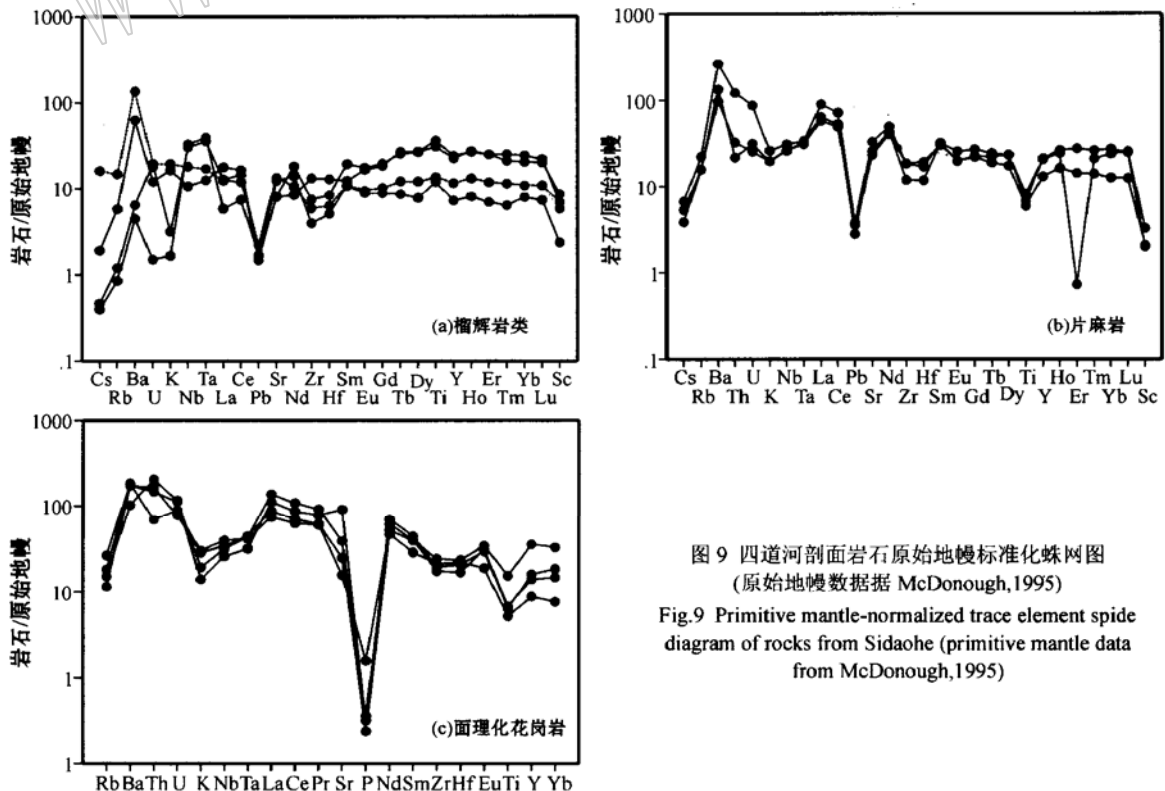


图 9 四道河剖面岩石原始地幔标准化蛛网图 (原始地幔数据 McDonough, 1995)
Fig.9 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of rocks from Sidaohe (primitive mantle data from McDonough, 1995)

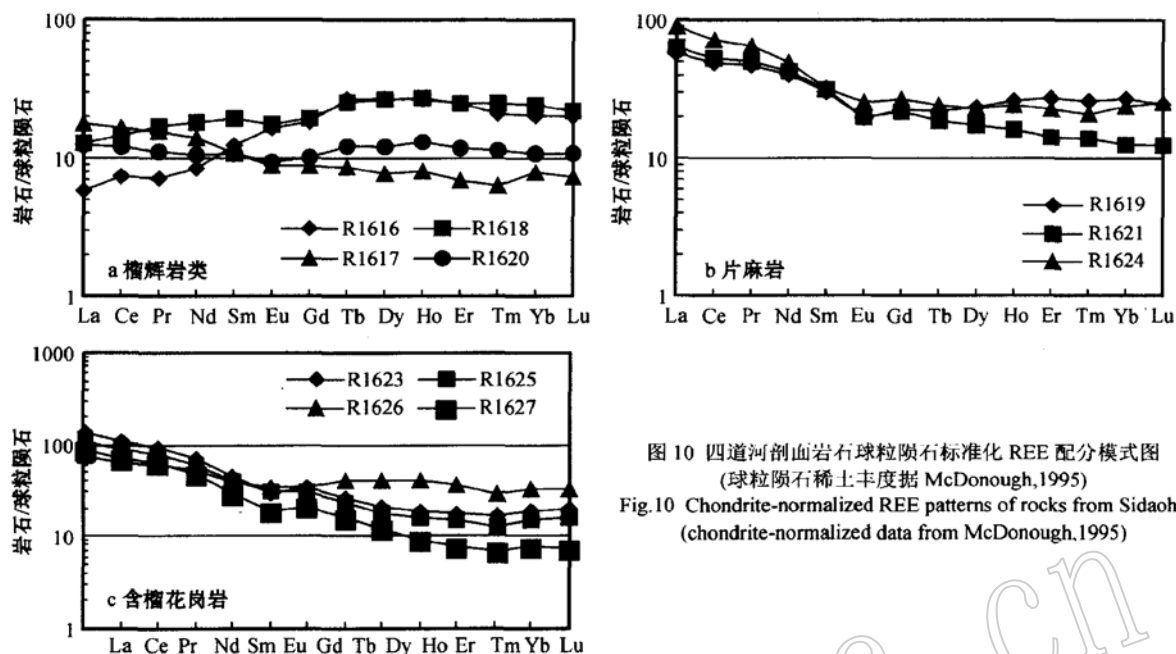


图10 四道河剖面岩石球粒陨石标准化REE配分模式图
(球粒陨石稀土丰度据McDonough,1995)
Fig.10 Chondrite-normalized REE patterns of rocks from Sidaohe
(chondrite-normalized data from McDonough,1995)

$LREE/HREE = 2.81 \sim 8.64$, 均值为 6.3 。
(La/Yb)_N 为 $2.25 \sim 11.36$, 平均为 7.14 , 轻重稀土元素分馏程度比片麻岩略有加强(图9c), 显示了壳源的特点。

4 讨论

通过对四道河剖面中空间关系密切的各类岩石的研究, 且结合前人成果做如下探讨:

(1) 榴辉岩。张泽明等(2004)研究得出, 榴辉岩原岩具有大陆玄武岩的构造亲缘性。本区的榴辉岩呈透镜体形式产出于片麻岩中, 且发生了程度不同的退变作用, 有些小规模的榴辉岩透镜体已完全退变为具榴辉岩假像的斜长角闪岩透镜体, 具不平衡的退变反应现象(张泽明, 1996); 榴辉岩退变为斜长角闪岩, 在主量元素上近于等化学系列(表1), 微量元素特征相似(图9a), 在稀土元素特征方面(图10a), 轻稀土元素逐渐富集, 这可能由于在超高压板片折返至中下地壳发生退变质期间壳源物质的加入对幔源物质成分产生了影响。

(2) 片麻岩。近年在片麻岩中发现的大量超高压矿物学证据表明, 片麻岩经历了超高压变质作用(刘景波等, 1997; Carswell *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2001)。Zhang 等(2003)指出榴辉岩在低角闪岩相的变质环境下可以通过交代、水化反应及重结晶退变

成片麻岩。实验岩石学资料也揭示了从角闪岩向花岗质岩石转变的可能性(Brown, 1998; Collins, 1996; Creaser, 1991; Gardien, 2000; Hollister, 1993; Patiño Douce, 1995)。本区中的片麻岩为榴辉岩的直接围岩, 岩相学特征显示片麻岩中后期的退变质矿物构成了石榴石的斑晶假像。在主量元素成分上片麻岩与榴辉岩及其退变产物(斜长角闪岩)存在突变现象, 微量元素方面具有一定的相似性, 在某种程度上反应了本区的片麻岩在成因上与榴辉岩可能有一定的联系。

(3) 面理化含榴花岗岩。本区面理化含榴花岗岩的主微量元素地球化学特点为: 富 SiO_2 、 K_2O + Na_2O 、高价阳离子 Ga、Y 以及 REE, 贫 K_2O/Na_2O 、Al、Ca、Mg、Ti、P, 与片麻岩具有相似的主微量及稀土元素特征。面理化含榴花岗岩在 Rb-Hf-Ta 图解中投点位于碰撞后花岗岩区(图11), 结合张宏飞等(2001)对本区面理化含榴花岗岩所得出的锆石 U-Pb 年龄(227~234 Ma)稍晚于被普遍接受的超高压峰期变质年龄上限(245 Ma), 由此得知, 本区的面理化含榴花岗岩为后碰撞造山 A 型花岗岩。杨启军等(2004)指出大别-苏鲁超高压地体中的面理化花岗岩具有与榴辉岩及其相同的亏损地幔模式年龄, 表明面理化含榴花岗岩成因可能与榴辉岩有关(游振东等, 2004)。

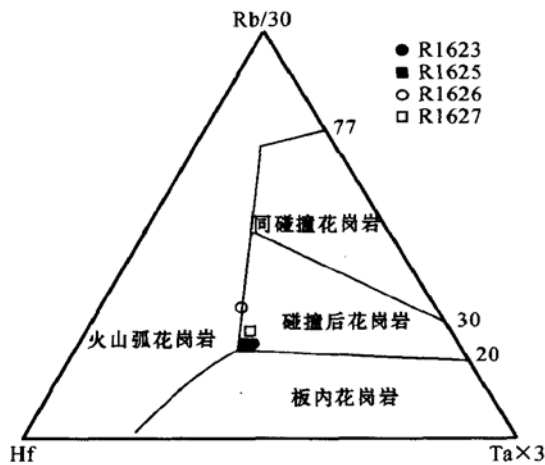


图 11 四道河花岗质岩石的 Rb- Hf- Ta 图解
(据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 11 Rb- Hf- Ta diagram of granitoid rocks in Sidaohe
(after Maniar and Piccoli, 1989)

5 结 论

大陆板片俯冲至上地幔经历了超高压变质作用, 表壳岩变质形成榴辉岩; 随后超高压变质岩石在折返至中下地壳发生了强烈的减压退变质作用, 主要为角闪岩相变质作用, 形成斜长角闪岩, 随后, 与成因上存在争论的片麻岩及后碰撞造山 A 型花岗岩——面理化含榴花岗岩一道从中下地壳向地表作进一步折返, 并一同经历了后期的变质变形作用。

本区的片麻岩和面理化含榴花岗岩的成因应从实验岩石学的角度做进一步的探讨和研究。同时, 榴辉岩与围岩片麻岩以及面理化含榴花岗岩的关系还需做进一步的研究工作。

感谢匿名评委对本文提出的宝贵意见!

References

Barker F. 1979. Trondhjemite: Definition, environment and hypotheses of origin [A]. Barker F. Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks [C]. Elsevier Scientific Publishing Company, 1~ 12.
Brown M and Solar G S. 1998. Shear zone systems and melts: feedback relations and self-organization in orogenic belts [J]. J. Struct. Geol., 20(3): 211~ 227.
Carswell D A, Wilson R N and Zhai M. 2000. Metamorphic evolution, mineral chemistry and thermobarometry of schists and orthogneisses hosting ultra-high pressure eclogites in the Dabie Shan of central China [J]. Lithos, 52: 121~ 155.

Collins W J. 1996. Derivation of A-type Granites from a Dehydrated Charnockitic Lower Crust: Evidence from the Caelundi Complex, Eastern Australia [M]. London: Oxford University Press.
Cong Bolin and Wang Qingchen. 1999. The latest advance of research on Dabie- Sulu UHP metamorphic belts [J]. Chin. Sci. Bull., 44 (11): 1 127~ 1 141 (in Chinese).
Creaser R A, Price R C and Wormald R J. 1991. A-type granites revisited: Assessment of a residual-source model [J]. Geology, 19: 163 ~ 166.
Faure, Lin W and Urs S. 2003. Continental subduction and exhumation of UHP rocks. Structural and geochronological insights from the Dabie Shan (East China) [J]. Lithos, 70: 213~ 241.
Gardien V, Thompson A B and Ulmer P. 2000. Melting of biotite + plagioclase + quartz gneisses: The role of H₂O in the stability of amphibole [J]. J. Petrol., 41(5): 651~ 666.
Liu F L, Xu Z, Katayama, et al. 2001. Mineral inclusions in zircon of para- and orthogneiss from pre-pilot drillhole CCS-01P1, Chinese Continental Scientific Drilling Projects [J]. Lithos, 50: 199~ 215.
Liu Fulai, Zhang Zemin, Xu Zhiqin, et al. 2003. Ultrahigh pressure metamorphic traces hidden in zircons from amphibolites of Sulu terrane, Eastern China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 24(5): 409~ 414 (in Chinese with English abstract).
Liu Jingao, Wu Ying and Guo Lianjie. 1997. Relationships between eclogite and country rock (gneiss): from research on associated mineral inclusions of gneiss [J]. Chin. Sci. Bull., 42(23): 2 531~ 2 534 (in Chinese).
Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoid [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 100: 635~ 643.
McDonough W F. 1995. The composition of the Earth [J]. Chemical Geology, 120: 223~ 253.
O'connor J T. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios [J]. U.S. Geol. Surv. Prof. Pan., 525B: 79~ 84.
Okay A I, Xu S and Sengor A G. 1989. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central china [J]. European Journal of Mineralogy, (1): 595~ 598.
Patiño Douce A E and Beard J S. 1995. Dehydration melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar [J]. J Petrol., 36: 707~ 738.
Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides for major and minor element [J]. Lithos, 22: 247~ 263.
Rolfo F, Compagnoni R, Wu W, et al. 2004. A coherent lithostratigraphic unit in the coesite-eclogite complex of Dabie Shan, China: geologic and petrologic evidence [J]. Lithos, 73: 71~ 94.
Suo Shutian, Zhong Zengqiu, Zhou Hanwen, et al. 2001. Structural analysis of UHP metamorphic rocks in the Bixiling area, Dabie mountains, China [J]. Earth Sciences Frontiers, 8(2): 385~ 394 (in Chinese with English abstract).
Xu Shutong and Su Wen and Liu Yican. 1991. Diamond from Eastern Dabie Shan Mountains, central China [J]. Chin. Sci. Bull., 36 (17): 1 318~ 1 321 (in Chinese).

- Yang Qijun, Zhong Zengqiu. 2004. Genesis of garnet-bearing granites in UHP terrane of Dabie-Sulu orogenic belt, central China[J]. Earth Science, 29(2): 169~ 177(in Chinese with English abstract).
- Ye Kai. 2001. Study progress of mineralogy and petrology in Dabieshan - Sulu Ultrahigh-Pressure (UHP) Metamorphic terrane[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 20(3): 141~ 148 (in Chinese).
- You Zhendong, Su Sangguo, Liang Fenghua, *et al.* 2004. Petrography and metamorphic deformational history of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the 100~ 2000 m core of China Continental Scientific Drilling, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(1): 43~ 52(in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongfei, Zhong Zengqiu, Gao Shan, *et al.* 2001. U-Pb zircon age of the foliated garnet-bearing granites in Western Dabie Mountains, central China[J]. Chin. Sci. Bull., 46(10): 843~ 846(in Chinese).
- Zhang R Y and Liou J G. 1993. Retrograde evolution of coesite-bearing eclogite in the Dabie mountains, central China[J]. Eos, 679.
- Zhang R Y and Liou J G. 1995. Ultrahigh-pressure metamorphism and decompressional P-T path of eclogites and country rocks from Weihai, eastern China[J]. Island Arc, 4: 293~ 309.
- Zhang R Y, Liou J G, Zheng Y F, *et al.* 2003. Transition of UHP eclogites to gneissic rocks of low-amphibolite facies during exhumation: evidence from the Dabie terrane, central China[J]. Lithos, 70: 269~ 291.
- Zhang Zeming. 1996. Disequilibrium reactions and kinetics of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie Mountains[J]. Earth Science, 21(5): 501~ 507(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zeming, Xu Zhiqin, Liu Fulai, *et al.* 2004. Geochemistry of eclogites from the main hole (100~ 2050) of Chinese Continental Scientific Drilling project[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(1): 27~ 42(in Chinese with English abstract).
- Zhong Z, Suo S, You Z. 1999. Regional-scale extensional tectonic pattern of ultrahigh-pressure and high-pressure metamorphic belts from the Dabie massif, China[J]. International Geology Review, 41: 1033~ 1041.

附中文参考文献

- 从柏林, 王清晨. 1999. 大别山-苏鲁超高压变质带研究的最新进展[J]. 科学通报, 44(11): 1127~ 1141.
- 刘福来, 张泽明, 许志琴, 等. 2003. 隐藏在苏鲁地体斜长角闪岩锆石中超高压变质作用的信息[J]. 地球学报, 24(5): 409~ 414.
- 刘景波, 吴颖, 国连杰. 1997. 榴辉岩与围岩片麻岩之间的关系: 来自片麻岩副矿物包裹体的研究[J]. 科学通报, 42(23): 2531~ 2534.
- 索书田, 钟增球, 周汉文, 等. 2001. 大别山碧溪岭地区超高压变质岩构造分析[J]. 地学前缘, 8(2): 385~ 394.
- 徐树桐, 苏文, 刘贻灿. 1991. 大别山东段高压变质岩中的金刚石[J]. 科学通报, 36(17): 1318~ 1321.
- 杨启军, 钟增球. 2004. 大别-苏鲁超高压地体中面理化含榴花岗岩的成因研究[J]. 地球科学, 29(2): 169~ 177.
- 叶凯. 2001. 大别山-苏鲁超高压变质带的矿物学和岩石学研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(3): 141~ 148.
- 游燕东, 苏尚国, 梁凤国, 张泽明. 2004. 中国大陆科学钻探 100~ 2000 米超高压变质岩岩相学特征与变质变形史[J]. 岩石学报, 20(1): 43~ 52.
- 张宏飞, 钟增球, 高山, 等. 2001. 大别山西部面理化含榴花岗岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 46(10): 843~ 846.
- 张泽明. 1996. 大别山地区超高压变质岩的不平衡退变反应及动力学[J]. 地球科学, 21(5): 501~ 507.
- 张泽明, 许志琴, 刘福来, 等. 2004. 中国大陆科学钻探主孔(100~ 2050 m)榴辉岩岩石化学研究[J]. 岩石学报, 20(1): 27~ 42.