

东秦岭丹凤蛇绿混杂岩带变泥质粉砂岩的地球化学特征及物源分析

戴亚权^{1,2}, 罗静兰¹, 王 孟¹, 李 杪¹, 白雪晶¹, 闫辽伟¹, 程 辰¹

DAI Ya-quan^{1,2}, LUO Jing-lan¹, WANG Meng¹, LI Miao¹,

BAI Xue-jing¹, YAN Liao-wei¹, CHENG Chen¹

1. 大陆动力学国家重点实验室/西北大学地质系, 陕西 西安 710069;

2. 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第五采油厂, 陕西 西安 710016

1. *State Key Laboratory of Continental Dynamics of China/Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;*

2. *No.5 Oil Producing Factory, Changqing Oilfield, Petrochina, Xi'an 710016, Shaanxi, China*

摘要:东秦岭丹凤县东部的郭家沟是丹凤蛇绿混杂岩的典型出露区, 作为其重要组成部分的沉积岩主要由夹有少量硅质岩的泥质粉砂岩构成, 目前已变为角闪石英片岩和少量黑云石英片岩。这些变泥质粉砂岩显示了活动陆缘岛弧物源区沉积物高 CaO、MgO、MnO、Sr、Ba, 低 K₂O/Al₂O₃ 比值, 轻稀土元素中等富集, Eu 异常微弱的地球化学特征。其中, 占主体的角闪石英片岩高 Co/Th、低 La/Sc 和 Th/Sc 比值; 黑云石英片岩低 Co/Th、高 La/Sc 和 Th/Sc 比值, 反映其源区以基性物质为主, 花岗质物质的供给有限。根据与变泥质粉砂岩共生的硅质岩形成于奥陶纪—志留纪推断, 这套沉积岩形成于北秦岭区活动大陆边缘岛弧演化早期弧前沉积盆地环境。

关键词:变泥质岩; 地球化学; 物源分析; 构造环境; 东秦岭

中图分类号: P588.21*2.1; P595

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2009)10-1465-07

Dai Y Q, Luo J L, Wang M, Li M, Bai X J, Yan L W, Cheng C. Geochemical characteristics and provenance of meta-mud siltstones from the Danfeng ophiolite mélange in eastern Qinling, central China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(10): 1465-1471

Abstract: The Danfeng ophiolites outcrop in Guojiagou area east of Danfeng County, eastern Qinling. Being an important part of the ophiolites, the mud siltstones are closely associated with cherts, which have been metamorphosed to hornblende quart schists with minor biotite quart schists. They are featured by high CaO, MgO, MnO, Sr, Ba and low K₂O/Al₂O₃ ratios, moderate LREE enrichment and slight Eu anomalies, geochemically similar to those of sedimentary rocks occurred in island-arc areas in an active continental margin. Furthermore, hornblende quartz schists have high Co/Th and low La/Sc, Th/Sc ratios, while biotite quartz schists have relatively low Co/Th and high La/Sc, Th/Sc ratios, indicating that they mainly derived from basic materials with limited granite material supply. Based on the fact that the siliceous rocks associated with meta-mud siltstones are formed during Ordovician to Silurian, this sedimentary set should be formed in a fore-arc basin of an active continental margin during early island-arc of north Qinling in early Paleozoic.

Key words: meta-mud siltstone; geochemistry; provenance analysis; tectonic setting; eastern Qinling

收稿日期: 2009-04-13; 修订日期: 2009-05-31

科技项目: 西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项经费项目、中国石化石油勘探公司南方海相碳酸盐岩项目和国家大学生创新性实验计划项目(编号: 国 200711)资助

作者简介: 戴亚权(1963-), 男, 在读博士, 从事沉积学、石油地质与勘探研究

通讯作者: 罗静兰(1957-), 女, 教授, 从事储层沉积学、石油地质学研究。E-mail: jlluo@nwnu.edu.cn

秦岭造山带夹持于中国南北两大陆块之间,构成纵贯中国大陆中央造山系的重要组成部分,在中国大陆形成演化中占有十分重要的地位。该造山带内部发育了北部商丹和南部勉略2条缝合带,是造山演化过程的重要物质记录,成为探讨秦岭造山带形成演化过程的重要信息源。其中,北部商丹缝合带东西延绵近千千米,带内除断续出露各种与岛弧相关的火山岩及基性侵入杂岩外,还伴有一些沉积岩块,它们一同成为该缝合带蛇绿混杂岩的重要物质组成^[1]。因此,全面深入认识该缝合带中不同岩块的物质组成特征、性质及其演化过程对探讨秦岭古洋盆的发展演化具有突出意义。然而,以往的研究主要集中于该混杂岩带中基性火山岩的岩石地球化学特征方面,缺乏该混杂带重要组成部分的碎屑岩的元素地球化学的系统研究。由于碎屑岩的地球化学特征不但能反映其物源区的性质,在一定程度上还能指示其沉积区的古构造环境,因而常被用以探讨物源区特征并恢复其形成构造环境等。因此,对目前研究还十分薄弱、包含重要成因信息的与火山岩紧密共生的碎屑岩的研究,将能从一个新的视角加深对秦岭古洋盆演化的认识。本文针对东秦岭陕西境内丹凤县以东郭家沟蛇绿混杂岩典型出露区的变沉积

岩开展系统的地球化学研究,确定其源区特征和沉积构造环境,并为丹凤蛇绿岩的形成构造环境和演化提供新的证据和限制。

1 研究区地质简况

商丹构造缝合带是秦岭造山带中部划分南北秦岭的一条重要分界线。该缝合带东西延伸近千千米,由不同性质、不同成因的变质火山岩、沉积岩和一些侵入岩构成的构造岩块(片)混杂叠置而成,以东秦岭的陕西省丹凤县东部郭家沟出露最齐全和最具代表性。

郭家沟地区的变质火山-沉积混杂岩自南向北依次出露基性层状和枕状熔岩夹少量超镁铁质岩、基性侵入岩、沉积岩等岩片(图1),现已发生绿片岩相到低角闪岩相变质作用,并遭受了晚期花岗岩脉的贯入和糜棱岩化的改造作用。其中,南部的原基性熔岩已变为斜长角闪片岩,局部偶见变余斑状结构、变余气孔和杏仁构造。最南部为石榴角闪岩,以韧性断裂与其他岩块分隔,代表了镁铁质或超镁铁质岩的变质产物。枕状熔岩的岩枕多已变形拉长,大小由十余厘米到二三十厘米不等,部分残留有已绿帘石化的冷凝边。基性侵入岩除以辉绿岩墙为主外,也见

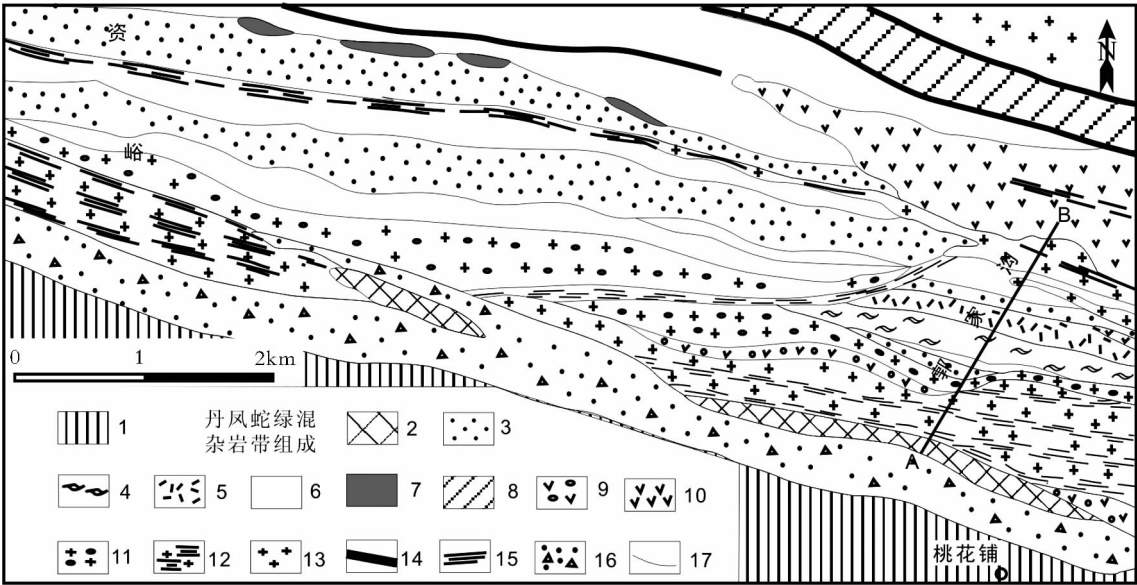


图1 丹凤县资峪—郭家沟地区地质图^[2]

Fig. 1 Geological map of the Ziyu-Guojiagou area in Danfeng County

1—上古生界刘岭群;2—变超镁铁质岩;3—基性火山岩;4—枕状熔岩;5—岩墙群;6—熔岩夹泥岩及深水碳酸盐岩;7—超基性岩块;8—复理石层;9—辉长杂岩;10—辉长岩;11—片麻状长英质糜棱岩;12—糜棱岩化花岗岩;13—花岗岩;14—韧性断裂;15—断层;16—断层角砾岩;17—地层界线;AB—剖面位置

有少量辉长岩体。沉积岩片主要为泥质粉砂岩夹少量硅质岩及薄层碳酸盐岩。总体上,这套变质火山—沉积岩和侵入岩系基本代表了一个由变超镁铁质岩、基性岩(包括侵入岩和火山岩)和沉积岩构成的不具完整蛇绿岩层序的构造岩块^[1]。

郭家沟蛇绿混杂岩中的变沉积岩主要出露于变基性火山岩和侵入岩的中部(图 1、图 2),以泥质粉砂岩为主,同时夹有少量薄层硅质岩及碳酸盐岩,单层厚度一般小于 1cm,多为 5mm 左右。由于粒度细且已发生变质,野外露头这些薄层泥质粉砂岩十分坚硬,酷似硅质岩。岩石组成上受原始成分层差异的制约,现已变质成角闪石英片岩和黑云石英片岩 2 类,以前者为主。其中,角闪石英片岩主要由石英(55%±)、角闪石(23%±)、长石(15%)、黑云母(5%)、绿帘石(4%)等构成,角闪石矿物明显定向排布,具柱状鳞片粒状变晶结构(图 3-A)。黑云石英片岩组

成矿物有石英(50%~55%)、黑云母(18%)、长石(20%)、帘石(3%)、角闪石(3%)等,黑云母与长英质矿物一同定向排列,呈现鳞片粒状变晶结构(图 3-B)。

2 样品采集和分析

本文研究的样品采自郭家沟蛇绿混杂岩中部与含放射虫薄层硅质岩密切共生的泥质粉砂岩(图 2)。由于层内缺乏浅水沉积标志,前人认为它们是一套深水环境的沉积产物^[3]。

在与硅质岩密切共生的变泥质粉砂岩出露区,以 10~20cm 不等间距采集 10 余块样品,经过镜下观察后选出 9 件典型样品在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成元素地球化学分析。其中,主量元素用碱熔玻璃片法在日本理学 RIX2100X 荧光光谱仪上分析,经 BCR-2 和 GBW07105 标样监控,各项主量元素分析误差均低于 5%,FeO 和烧失量

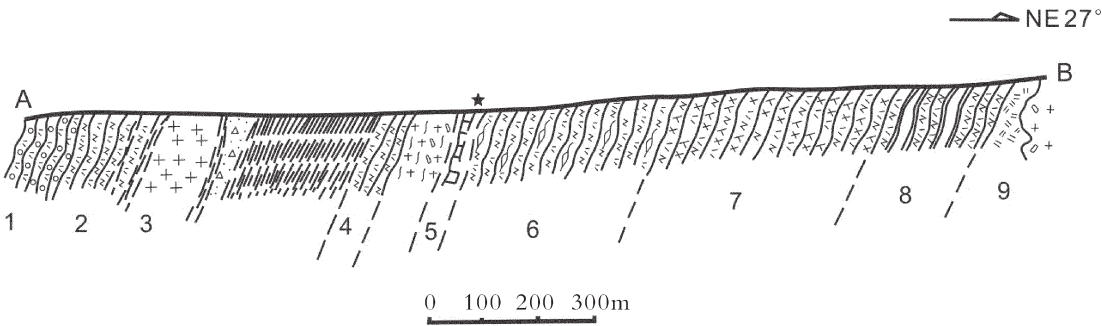


图 2 丹凤县郭家沟蛇绿混杂岩剖面图^[2]

Fig. 2 Guojiagou profile of ophiolite mélangé in Danfeng County

1—石榴角闪片岩;2—斜长角闪片岩;3—糜棱岩、糜棱岩化花岗岩、碎裂岩;4—变玄武岩;5—硅质岩与泥质粉砂岩;6—变枕状熔岩;7—辉绿岩墙;8—变玄武岩;9—辉长岩;★采样位置

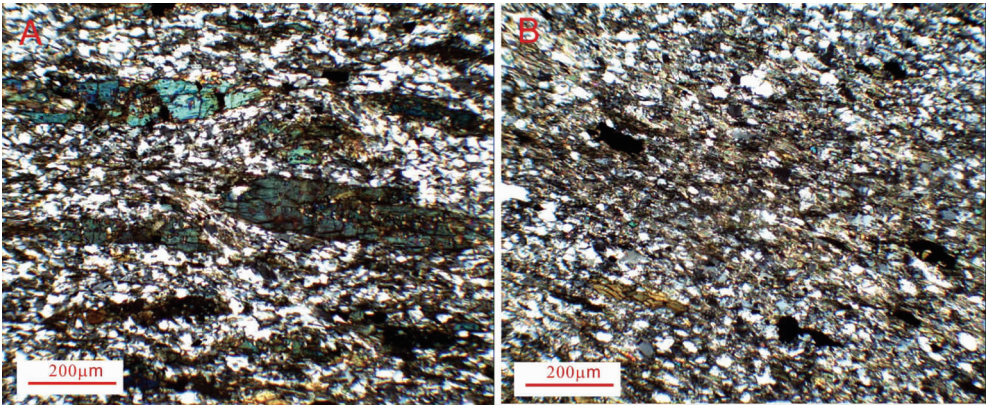


图 3 郭家沟变泥质粉砂岩显微结构(正交偏光)

Fig. 3 Texture(cross-polarized light) of meta-mud siltstones from Guojiagou area

A—角闪石英片岩;B—黑云石英片岩

(LOI)用湿法化学法分析。微量元素采用 ICP-MS 测定,详细的分析方法 Gao 等^[4]已有描述。样品经 AGV-1、BCR-2、G2 和 RGM-1 国际标样监控,Co、Ni、Zn、Ga、Rb、Y、Zr、Nb、Hf、Ta、REE(除 Hf 和 Lu)等元素分析相对误差低于 5%,其他元素相对误差介于 5%~15%之间,分析结果列于表 1。

2.1 主量元素特征

与岩相学观察结果一致,研究区代表性变泥质粉砂岩的元素含量存在较大差异(表 1),特别是 SiO₂ 的含量有更为明显的变化,并以角闪石英片岩较黑云石英片岩的 SiO₂ 变化更大,相对高 MnO、MgO、CaO,贫 Fe₂O₃(FeO),低 Al₂O₃、K₂O 为特点。以代表大陆上地壳成分的澳大利亚后太古代页岩(PAAS)标准化的结果显示,所有样品均以高钙、钠,不同程度地富镁、锰和相对亏损钾、铁、钛为特征(图 4-a),同时它们的 K₂O/Al₂O₃ 比值很低(0.02~0.09),均一致指示这些岩石形成过程缺少富钾碱性长石矿物的摄入,而以偏基性物质的供给为主。然而,计算的黑云母石英片岩的成分变异指数(ICV=(Fe₂O₃+K₂O+Na₂O+CaO+MgO+MnO+TiO₂)/Al₂O₃)^[5]较低(0.73~0.79,平均 0.75),角闪石石英片岩的 ICV 较高(0.94~1.41,平均 1.22),又表明它们的源区物质存在一定的差异。但由 2 类岩石的 ICV 都接近或高于 1 推断,它们的源区应为构造活动较为强烈的地区。

2.2 稀土和微量元素特征

与主量元素相同,2 类岩石的稀土和微量元素也存在一定的差异。虽然它们的球粒陨石标准化图谱共同显示了 Eu 异常微弱、相对富集轻稀土元素的类似岛弧区物源的稀土元素谱型特征(图 5)。但黑云石英片岩轻、重稀土元素分馏强(La_N/Yb_N=14.68~19.77,平均为 16.70),δEu=0.94~1.00(平均为 0.9);角闪石英片岩轻、重稀土元素分馏相对较弱(La_N/Yb_N=3.23~4.36,平均为 3.91),δEu=0.79~1.04(平均为 0.92)。由于轻、重稀土元素分馏较高一

表 1 郭家沟丹凤蛇绿岩变泥质粉砂岩的元素含量
Table 1 Elements content of meta-mud siltstones from Danfeng ophiolites in Guojiagou area

岩 性	黑云石英片岩			角 闪 石 英 片 岩					
SiO ₂	67.25	63.70	69.20	73.64	67.81	60.10	69.77	69.25	54.26
TiO ₂	0.17	0.26	0.22	0.40	0.46	0.55	0.53	0.47	0.63
Al ₂ O ₃	18.16	19.05	16.40	9.50	13.29	17.86	11.60	11.81	16.13
Fe ₂ O ₃	1.26	2.36	1.32	3.00	3.45	2.96	4.96	3.53	2.56
FeO	0.95	1.28	1.15	2.62	2.95	4.00	2.78	2.88	5.78
MnO	0.04	0.05	0.07	0.17	0.19	0.16	0.17	0.19	0.20
MgO	1.08	1.14	0.90	1.67	2.08	2.32	1.74	3.02	6.29
CaO	3.54	4.05	2.67	3.97	4.40	4.05	4.23	4.58	9.30
Na ₂ O	6.37	6.29	5.68	1.85	2.94	6.35	2.35	2.82	3.49
K ₂ O	0.85	0.92	1.04	0.82	0.95	0.44	0.99	0.91	0.29
P ₂ O ₅	0.10	0.22	0.14	0.15	0.17	0.14	0.14	0.13	0.16
LOI	0.28	0.44	0.58	1.45	0.80	0.98	0.61	0.63	0.75
Total	100.16	99.90	99.50	99.53	99.82	100.35	100.18	100.54	100.48
Sc	3.0	2.8	3.1	16.0	19.3	23.8	25.7	24.1	34.9
V	36	42	30	90	143	196	147	147	235
Cr	12	3	6	24	41	13	63	91	206
Co	74.7	74.5	79.2	138.7	76.3	53.8	109.8	130.5	64.1
Ni	9	3	5	17	22	10	38	31	101
Cu	88.57	23.16	13.21	86.80	73.94	73.14	88.45	44.87	61.98
Zn	25.2	39.3	47.6	47.6	53.3	51.1	45.6	62.5	73.4
Ga	17.0	17.5	15.1	9.3	11.3	14.7	11.6	12.6	10.7
Rb	23.2	26.4	35.6	20.3	24.4	7.9	30.5	27.3	3.2
Sr	745	911	692	310	379	288	308	399	513
Y	9.7	11.1	11.1	20.5	23.0	20.4	23.6	18.8	19.4
Zr	159.5	133.8	184.7	50.6	49.3	48.0	64.2	56.3	38.6
Nb	6.57	6.75	11.38	2.86	2.59	2.00	2.95	2.51	3.02
Cs	0.72	0.72	0.62	1.14	1.09	0.42	0.51	0.75	0.19
Ba	687	721	1477	251	309	121	191	193	54
La	30.49	29.47	40.57	14.45	15.26	11.04	15.98	12.87	10.00
Ce	51.92	51.32	71.46	35.51	33.22	21.00	35.65	26.45	18.99
Pr	5.25	5.49	7.56	3.44	3.43	2.59	4.10	3.13	2.54
Nd	16.30	18.37	24.12	13.99	13.96	11.03	17.42	13.44	11.32
Sm	2.39	2.88	3.66	3.04	3.02	2.62	3.92	3.08	2.84
Eu	0.65	0.84	0.98	0.87	0.88	0.90	1.03	1.00	0.85
Gd	1.87	2.27	2.75	2.98	3.12	2.64	4.03	3.11	2.91
Tb	0.27	0.32	0.37	0.52	0.55	0.50	0.65	0.50	0.48
Dy	1.44	1.69	1.91	3.21	3.46	3.22	4.03	3.10	3.05
Ho	0.32	0.36	0.38	0.75	0.84	0.77	0.87	0.68	0.68
Er	0.90	0.97	1.00	1.90	2.13	1.96	2.27	1.78	1.81
Tm	0.21	0.21	0.22	0.40	0.46	0.41	0.40	0.33	0.33
Yb	1.40	1.27	1.38	2.23	2.58	2.31	2.50	2.02	2.05
Lu	0.24	0.20	0.22	0.34	0.41	0.36	0.40	0.32	0.33
Hf	4.93	4.32	5.74	3.77	2.70	2.23	3.17	3.36	1.86
Ta	0.60	0.55	0.97	0.37	0.31	0.19	0.34	0.30	0.16
Pb	24	26	41	21	17	12	5.9	12	7.3
Th	15.4	10.7	21.3	3.6	3.4	2.8	4.5	3.9	3.1
U	4.4	3.5	6.4	0.6	0.9	0.5	0.6	0.7	0.7
La/Sc	10.33	10.69	13.10	0.90	0.79	0.46	0.62	0.53	0.29
Th/Sc	5.20	3.88	6.89	0.23	0.17	0.12	0.17	0.16	0.09
La/Co	0.41	0.40	0.51	0.10	0.20	0.21	0.15	0.10	0.16
Th/Co	0.21	0.14	0.27	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Cr/Th	0.78	0.26	0.29	6.58	12.06	4.73	14.19	23.53	66.89
Eu/Eu*	0.94	1.00	0.95	0.89	0.88	1.04	0.79	0.99	0.90

注:氧化物含量 wt%,微量和稀土元素含量 10⁻⁶

般指示相对富集大离子亲石元素矿物的含量高, 这些矿物大多是花岗质岩石中常见的矿物, 因此角闪石英片岩相对较弱的轻、重稀土元素分馏和微弱的 Eu 负异常指示其源区相对缺乏中酸性物质而富集基性物质。

角闪石英片岩和黑云石英片岩的澳大利亚后太古宙页岩标准化图谱显示, 它们相对亏损过渡族金属元素、贫高场强元素和 Sr 相对富集(图 4-b)。但相比而言, 角闪石英片岩较黑云石英片岩有略高的 Ni、Co, 但 Ba、Rb、Nb、Th 等元素相对亏损。通常, La/Sc、Th/Sc、Co/Th、Th/Ta 等元素的比值能最大程度地继承其母源区的相应比值, 来源于大陆边缘沉积物的 La/Sc、Th/Sc 和 Th/Ta 高、Co/Th 低, 而来源于大洋岛弧的沉积岩的 La/Sc、Th/Sc 和 Th/Ta 较低, Co/Th 高^[6-7]。郭家沟黑云石英片岩有相对较高的 La/Sc (10.33~13.10, 平均 11.37)、Th/Sc (3.88~6.89, 平均 5.33) 比值和低的 Th/Ta (19.43~25.71, 平均 22.37)、Co/Th 比值 (3.71~6.96, 平均 5.18); 而角闪石英片岩的 La/Sc、Th/Sc 和 Th/Ta 明显偏低, 分别为 La/Sc=0.29~0.90(平均为 0.60)、Th/Sc=0.09~0.23(平均为 0.16)、Th/Ta=9.65~19.05(平均为 13.41), Co/Th 则明显高 (19.15~38.46, 平均 26.60)。因此, 与主量和稀土元素指示的特征一致, 角闪石英片岩与黑云石英片岩的物源区是一个以基性物质为主, 同时可能有少量花岗质物质存在的非单一组分的复杂源区。

3 讨论

3.1 变泥质粉砂岩源区

Cox 等^[9]指出, 高 ICV(成分变异指数)的细粒碎

屑岩, 其粘土矿物含量和成分成熟度较低, 多形成于构造活动区。郭家沟蛇绿混杂岩 2 类变泥质岩的 ICV 接近或高于 1, 反映它们形成于构造活动相对强烈、缺少粘土岩类物质供给的地区。此外, 这些岩石总体上相对富集 CaO、Na₂O、MnO、MgO 和 Sr、Ba(图 4), 与活动大陆边缘岛弧沉积区主要来自钙碱性火山岩、富含 CaO、MnO、P₂O₅、Sr 和 Ba^[8]的物源区特征十分类似, 说明这些岩石的物源主要来自构造活动强烈的活动大陆边缘岛弧区。然而, 角闪石英片岩的 ICV(0.94~1.41, 平均 1.22)明显高于黑云母石英片岩的 ICV(0.73~0.79, 平均 0.75), 又指示其源区物质的复杂性。由于 Y、Sc、Th、Zr、Ta、Hf、Nb、Co 等微量元素在沉积过程中的活动性显著低于主量元素, 因而这些元素的含量及其相关比值能更有效地指示沉积源区的特征及其差异^[8-13]。通常, 来源于大陆边缘沉积物的 La/Sc、Th/Sc 和 Th/Ta 高, Co/Th 低, 而来源于大洋岛弧的沉积岩的 La/Sc、Th/Sc 和 Th/Ta 较低, Co/Th 高^[6-7]。占郭家沟蛇绿混杂岩变泥质粉砂岩主体的角闪石英片岩 La/Sc 和 Th/Sc 比值低、Cr/Th 比值高(表 1), 轻、重稀土元素分馏弱, 更富集 CaO、MnO、MgO 及 Ni、Cr 等元素(图 4), 与源自基性物质源区沉积岩的相关比值(La/Sc=0.04~0.09, Th/Sc=0.005~0.006, Cr/Th=1.10~1.15)相近^[9]。但这些沉积岩中出现的少量黑云石英片岩的轻、重稀土元素分馏较高, Fe₂O₃、MnO、MgO 及 Ni、Cr 等元素略有亏损, 并有高的 La/Sc、Th/Sc 和低的 Cr/Th 比值(表 1), 与源自有花岗岩类碎屑物参与的沉积岩相应的比值(La/Sc=4.8~55.0, Th/Sc=0.6~32, Cr/Th=0.6~6)^[6]类似, 暗示其源区还存

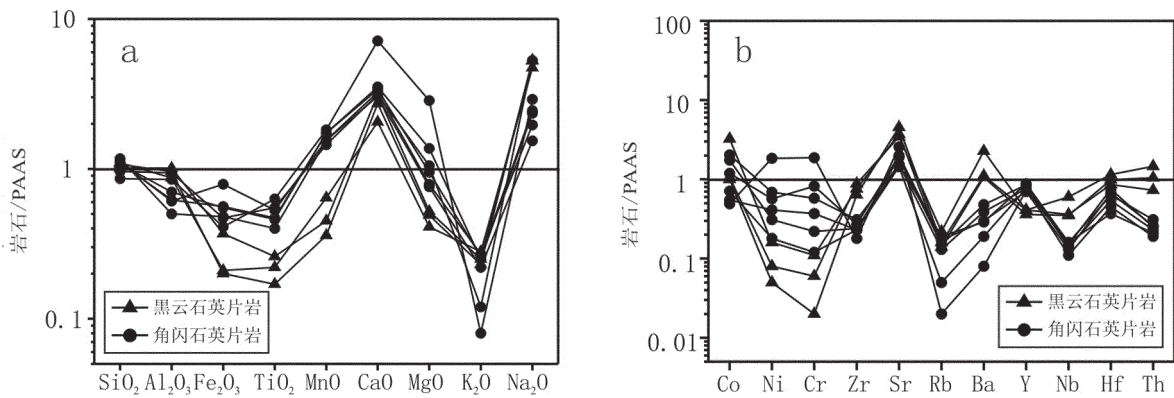


图 4 郭家沟变泥质粉砂岩 PAAS 标准化蛛网图

Fig. 4 PAAS-normalized patterns for meta-mud siltstones in Guojiagou area

在一定量的花岗岩类物质。由此推断,郭家沟蛇绿混杂岩中的沉积岩系沉积时,主要来自以基性物质为主并有少量花岗质物质参与的复杂源区。

3.2 变泥质粉砂岩形成时的构造环境

已有的研究表明,商丹带蛇绿混杂岩带中的变质基性火山岩主要形成于岛弧环境,以发育岛弧拉斑玄武岩和岛弧钙碱性玄武岩为特征^[1,14-15],同时作为岛弧地块的北秦岭构造带发育了大量形成于早古生代(400~445Ma)的与古秦岭洋盆俯冲相关的弧花岗岩体^[16-18],一致表明作为秦岭古洋盆遗迹的商丹带在早古生代已开始了洋盆的俯冲消减。前人在丹凤蛇绿混杂岩中与泥质粉砂岩密切共生的硅质岩中发现了奥陶纪—志留纪的放射虫化石^[3],大致与弧花岗岩的形成时代相当,证明它们沉积时已处于洋盆俯冲消减的构造环境。在 La-Th-Sc 和 Th-Co-Zr/10 图解中,这些沉积岩与活动陆缘物源区沉积环境密切相关,但占主体的角闪石英片岩则落在大洋岛弧区,而黑云石英片岩则分布在活动大陆边缘区(图 6),暗示了形成环境的差异,应为洋盆俯冲消减过程中构造环境变化的反映。这些变沉积岩的 K_2O/Al_2O_3 比值(0.02~0.09)明显低于长石类矿物的 K_2O/Al_2O_3 比值(0.3~0.9)^[5],相对富集 CaO 、 Na_2O 、 MnO 、 MgO 及 Sr 、 Ba ,岩相学观察显示这些岩石普遍缺少富钾的碱性长石矿物,充分证明其源区缺少富含长石类矿物的花岗质物质。特别是占该沉积岩片主要组成的角闪石英片岩明显低 La/Sc 和 Th/Sc ,表现了与基性物质较高的洋内弧物源区有高的亲缘性。这表明,这些岩石沉积时的洋盆可能仍具有一定的规模,其沉积区位于相对远离活动陆缘、较少接

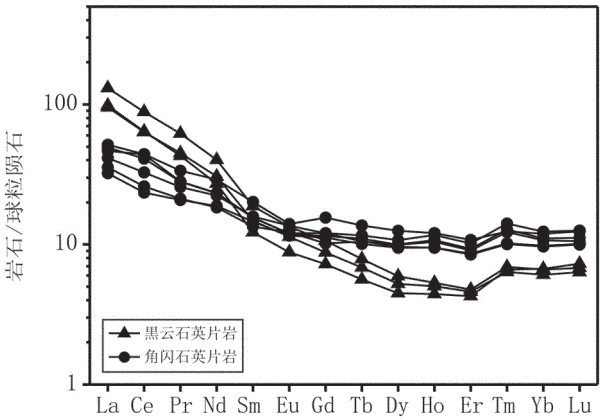


图5 郭家沟变泥质粉砂岩稀土元素谱型

Fig. 5 REE distribution patterns for meta-mud siltstones in Guojiagou area

受陆缘区花岗岩类物质供给、主要接受来自洋内弧的基性火山物质供给的地区。因此,这些碎屑岩的形成时期可能仍处于岛弧形成早期、地壳成熟度较低的初始岛弧演化阶段。对秦岭地区不同时代细粒碎屑岩地球化学特征的对比研究也证实,在志留纪—泥盆纪期间南秦岭区碎屑岩成分发生了重要变化,由单一源区物质的供给转变为来自洋盆南北两侧双源区物质的供给^[19-20],说明秦岭洋盆志留纪前仍具有一定的规模,此后洋壳进一步俯冲消减致使其逐渐萎缩为一个有限洋盆,至石炭纪秦岭洋盆大部分已沿商丹带一线闭合,仅部分地区局部残留了小的海盆^[1]。

因此,作为丹凤蛇绿混杂岩的重要组成部分、于奥陶纪—志留纪沉积形成泥质粉砂岩与硅质岩、薄

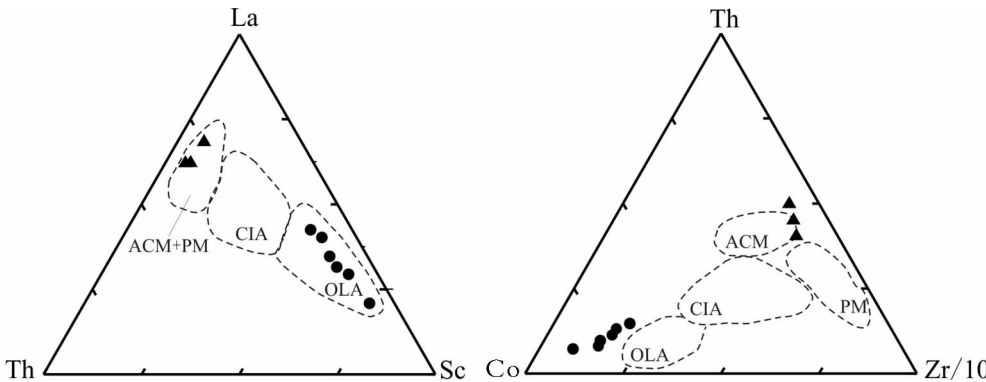


图6 郭家沟变泥质粉砂岩 La-Th-Sc 和 Th-Co-Zr/10 图解(样品图例说明同图4)

Fig. 6 La-Th-Sc and Th-Co-Zr/10 diagrams of meta-mud siltstones in Guojiagou area

ACM—活动大陆边缘;PM—被动大陆边缘;CIA—大陆岛弧;OLA—大洋岛弧

层碳酸盐岩时,北秦岭地区尚处于岛弧演化的早期阶段,秦岭洋盆虽由于洋壳俯冲消减发生萎缩,但仍可能具一定的规模,弧前盆地也较为开阔,这就决定了它们的物源应主要来自于洋内弧的基性物质。但另一方面,该沉积岩中反映有少量花岗质物质供给的黑云石英片岩的出现,又表明沉积区还有一定量花岗质岩石的供应,因而该区最有可能已演化至初始岛弧末期向晚期成熟弧过渡转化的阶段。此后,自志留纪—泥盆纪以来,秦岭洋壳的俯冲汇聚作用明显增强,沿商丹带以北发生强烈的酸性岩浆活动,形成大量花岗岩^[17-18],标志着北秦岭开始进入到活动陆缘晚期成熟弧演化的阶段。

4 结 论

东秦岭丹凤郭家沟变泥质粉砂岩的地球化学特征显示了岛弧物源区沉积岩的特征,其相对富集 CaO、MnO、MgO 和高 Sr、Ba、K₂O/Al₂O₃ 比值低,特别是占该变沉积岩主体的角闪石英片岩的 La/Sc、Th/Sc 比值低、Co/Th 比值高,证明源区供给物主要来自活动陆缘岛弧演化早期洋内弧的基性物质,暗示此时的弧前盆地较为开阔。少量高 La/Sc、Th/Sc 和低 Co/Th 比值的黑云石英片岩的存在,又表明其源区有一定量花岗质物质的供给。结合该沉积岩形成于奥陶纪—志留纪期间,且在 445Ma 左右北秦岭区出现了与俯冲有关的花岗岩,推断该沉积岩形成时北秦岭可能已演化至初始岛弧末期向晚期成熟弧的过渡转化阶段。

致谢:样品采集过程中得到张国伟院士和张成立教授的帮助,成文过程中与张成立教授进行了有益的讨论,审稿人提出了很好的修改意见,在此一并致以谢忱。

参考文献

- [1]张国伟,张本仁,袁学城,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001.
- [2]张国伟,孙勇,于再平,等.北秦岭古活动大陆边缘[C]//秦岭造山带的形成与演化.西安:西北大学出版社,1986:48-64.
- [3]崔桂林,孙勇,王学仁.东秦岭丹凤蛇绿岩带放射虫的发现及其地质意义[J].科学通报,1995,40(18):1686-1688.
- [4]Gao S, Ling W L, Qiu Y M, et al. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic compositions of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1999, 63:2071-2088.
- [5]Cox R, Lowe D R, Cullers R L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59: 2919-2940.
- [6]Cullers R L. The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet mountains region, Colorado, U. S. A[J]. Chem. Geo, 1995, 123:107-131.
- [7]Götze J. Geochemistry and provenance of the Altendorf feldspathic sandstone in the middle bunter of the Thuringian basin[J]. Chemical Geology, 1998, 150: 43-61.
- [8]Bhatia M R, Crook K A. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contributions to Mineralogy Petrology, 1986, 92:181-193.
- [9]Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Blackwell, Oxford, UK, 1985.
- [10]Cullers R L, Basu A, Suttner L J. Geochemical signature of provenance in sand-mixed material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA[J]. Chem. Geol., 1988, 70: 335-348.
- [11]McLennan S M, Taylor S R, Kröner A. Geochemical evolution of Archean shales from South Africa: I. The Swaziland and Pongola supergroups[J]. Precamb. Res, 1983, 22: 93-124.
- [12]McLennan S M, Taylor S R, McCulloch M T, et al. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1990, 54: 2015-2050.
- [13]McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics[C]//Jonhanson M J, et al. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Boulder, Colorado: Geological Society of America Special Paper, 1993, 284, 21-40.
- [14]薛锋,张国伟.秦岭造山带丹凤变质岛弧火山岩系的岩石组合与地球化学特征[J].地球化学,1993,22(1):80-92.
- [15]张成立,于在平,周鼎武,等.东秦岭商丹带变质玄武岩地球化学特征对丹凤蛇绿岩的限制[C]//蛇绿岩与地球动力学研讨会论文集.北京:地质出版社,1996:154-157.
- [16]Lerch M F, Xue F, Kroner A, et al. A middle Silurian-Early Devonian magmatic arc in the Qinling Mountains of central China[J]. J. Geol., 1995, 103: 437-449.
- [17]张宗清,张国伟,刘敦一,等.秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学[M].北京:地质出版社,2006: 175-302.
- [18]李伍平,王涛,王晓霞,等.北秦岭灰池子复式岩体单颗粒锆石年龄[J].中国区域地质,2000,19(2):172-174.
- [19]Shan Gao, Ben-Ren Zhang, Xiao-Ming Gu, et al. Silurian-Devonian provenance changes of South Qinling basins: implications for accretion of the Yangtze (South China) to the North China cratons [J]. Tectonophysics, 1995, 250:183-197.
- [20]张本仁,高山,张宏飞,等.秦岭造山带地球化学[M].北京:科学出版社,2002.