

文章编号: 1000-6524(2001)02-0180-09

东秦岭丹凤岩群的形成时代和构造属性

裴先治^{1,2}, 李厚民², 李国光²

(1. 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069; 2. 长安大学地球科学学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 东秦岭丹凤岩群位于秦岭商丹构造带上, 主体形成于新元古代(1000Ma~800Ma), 其中变质基性火山岩的岩石地球化学特征表明为岛弧型火山岩系, 而非蛇绿岩, 其形成于秦岭造山带新元古代主造山期板块构造体制下的活动陆缘古岛弧构造环境。

关键词: 丹凤岩群; Sm-Nd 同位素年龄; 新元古代; 地球化学; 构造属性; 东秦岭

中图分类号: P597; P542+.4 **文献标识码:** A

东秦岭丹凤岩群位于秦岭商丹构造带中, 空间上呈 NWW 向狭长带状展布, 南北两侧以韧性剪切带分别与中元古代武关岩群和古元古代秦岭岩群相接触。近十余年来很多科研、教学和生产单位对其进行了较为详尽的调查研究, 关于其形成时代已有早古生代^[1~7]、新元古代—早古生代^[8~12]和新元古代^[13~16]等不同认识, 对其构造属性则有蛇绿岩^[2~4, 9~10, 12]、非蛇绿岩^[5~7]、岛弧火山岩^[13~18]、裂谷火山岩^[5~7]等不同解释。这些不同认识和观点很大程度上影响着对整个秦岭造山带元古宙和古生代构造体制、构造格架、造山过程和大地构造演化的深入探究。本文依据近年来在东秦岭商南—丹凤地区对丹凤岩群的地质调查和研究, 进一步探讨了丹凤岩群的形成时代和构造属性。

1 丹凤岩群产出的区域地质背景和组成特征

1.1 区域地质背景

丹凤岩群分布于北秦岭构造带南缘, 区域上呈近东西—北西西向狭长带状展布(图1), 向东至商南一带尖灭, 向西呈构造透镜体状断续延伸至商州三十里铺、周至黑河、凤县唐藏以及天水李子园、甘谷关子镇一带, 为一套强烈变形变质的以火山岩—碎屑岩组合为主的构造岩片体, 具有强烈而复杂的变形变质和组成结构特征, 大多处于秦岭造山带最重要的构造边界——商丹构造带中。其北侧大多与北秦岭核部杂岩秦岭岩群深变质片麻岩系和中元古代松树沟蛇绿岩岩片相邻, 南与中秦岭带泥盆系“刘岭群”以及新建立的中元古界武关岩群毗邻^[15]。

1.2 组成特征

通过商丹地区的地质填图, 查明丹凤岩群自北而南可划分为三个构造岩片, 均呈 NWW

收稿日期: 2001-02-12; 修订日期: 2001-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(49732080)和原地地质矿产部区调填图项目资助

作者简介: 裴先治(1963-), 男, 教授, 博士, 现主要从事区域地质和构造地质学的教学与科研工作。

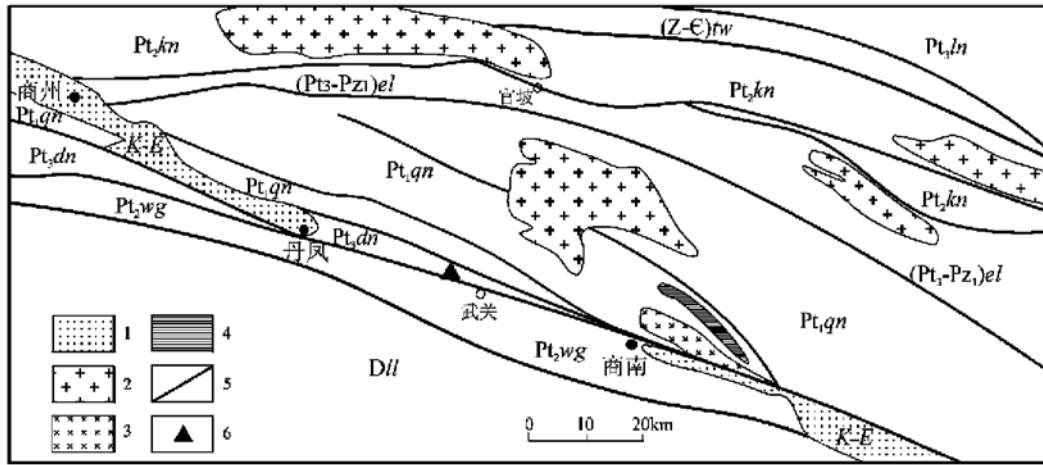


图 1 东秦岭商南—丹凤地区区域构造略图

Fig. 1 Tectonic map of Shangnan—Danfeng area in East Qinling Mountains

1—中新世; 2—花岗岩; 3—富水基性杂岩体; 4—松树沟超镁铁岩; 5—主要边界断裂; 6—同位素年龄采样点
 华北地块南缘: Pt₃ln—栾川群; (Z—E)tw—陶湾群; 北秦岭: Pt₁qn—秦岭南群; Pt₂kn—宽坪岩群;
 Pt₂wg—武关岩群; Pt₃dn—丹凤岩群; (Pt₃—Pz₁)el—二郎坪岩群; 南秦岭: Dll—刘岭群

向延展, 多数岩石受韧性剪切变形而成为各类构造岩。北部岩片: 主要以黑云斜长片岩、黑云斜长石英片岩为主夹少量斜长角闪片岩、二云母片岩和二云母石英片岩等, 原岩主要为碎屑沉积岩、火山碎屑沉积岩夹少量基性火山岩; 中部岩片: 以斜长角闪片岩为主, 夹黑云斜长石英片岩、黑云角闪斜长片岩、含石榴黑云石英片岩及少量长石石英岩、大理岩等, 原岩以基性火山岩为主夹少量杂砂岩、火山碎屑沉积岩; 其中从原岩变质地层中解体出一部分变质变形的辉长岩, 现多呈辉长质糜棱岩产出。南部岩片: 邻近商丹断裂带, 主要为含石榴十字石二云母石英(构造)片岩、含石榴二云母石英(构造)片岩, 夹少量薄层大理岩、斜长角闪片岩, 原岩以泥质岩、砂泥质岩夹杂砂岩及少量碳酸盐岩为主^[15]。中部岩片中部分斜长角闪片岩经韧性剪切退变为绿片岩相变形岩石, 它们的原岩主要为基性火山岩^[15]。

2 丹凤岩群的形成时代

2.1 丹凤岩群变质基性火山岩 Sm - Nd 同位素年龄

作者等在商丹地区 1: 5 万区调填图过程中, 对丹凤县武关地区丹凤岩群中的变质基性火山岩进行了同位素年龄测试(表 1, 图 2), 获全岩 Sm - Nd 等时线年龄为 $t =$

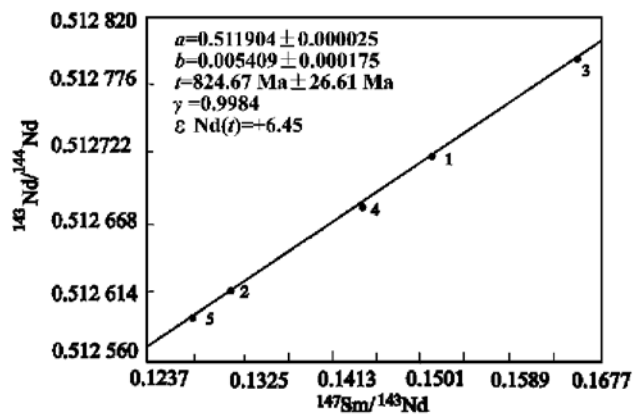


图 2 丹凤岩群变质基性火山岩全岩 Sm - Nd 等时线图

Fig. 2 Whole rock Sm - Nd isochron diagram of metabasic volcanic rocks in Danfeng Group complex

824.67 Ma \pm 26.61 Ma, 初始 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值 $I_{\text{Nd}} = 0.511904 \pm 0.000025$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.45$, 5个点线性关系好, 相关系数 $r = 0.9984$, 模式年龄介于 984 Ma~ 1096 Ma 之间, 平均模式年龄 $T_{\text{DM}} = 1032$ Ma。

表1 丹凤武关地区丹凤岩群变质基性火山岩的 Sm- Nd 同位素分析结果

Table 1 Sm- Nd isotopic composition of metabasic volcanic rocks in Danfeng Group complex

序号	样品号	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\pm 2\sigma)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)/825\text{Ma}$	T_{DM}/Ma
1	1502/1TW	1.32	5.28	0.25	0.15085	0.512719 \pm 30	+ 6.43	1049
2	1502/2TW	3.46	16.01	0.22	0.13087	0.512615 \pm 9	+ 6.51	988
3	1502/4TW	1.82	6.72	0.27	0.16411	0.512795 \pm 8	+ 6.52	1096
4	1502/5TW	4.25	17.78	0.24	0.14453	0.512678 \pm 10	+ 6.30	1044
5	1502/6TW	3.69	17.52	0.21	0.12739	0.512618 \pm 20	+ 6.47	984

测试者: 地质矿产部宜昌地质矿产研究所同位素研究室。

2.2 丹凤岩群形成时代讨论

多数人认为丹凤岩群形成于早古生代^[1~7], 主要依据是: 丹凤资峪玄武岩全岩 Rb- Sr 等时线年龄为 447.8 Ma \pm 41.8 Ma^[3], 侵入于丹凤岩群的奥长花岗岩单颗粒锆石 Pb- Pb 蒸发年龄为 487 Ma \pm 6 Ma^[3, 17~18], 侵入丹凤岩群的商县垃圾庙-秦王山辉长岩 Sm- Nd 内部等时线年龄为 402.6 Ma \pm 17.4 Ma^[19]。这些同位素年龄资料(表2)一方面反映了丹凤岩群遭受强烈变质变形改造的时代, 另一方面通过侵入体的时代限定了丹凤岩群形成的上限, 而并未确定丹凤岩群原岩的形成时代。根据张宗清对北秦岭诸多变质地层同位素年代学和地球化学研究结果^[8, 12], 大多数变质岩石同种样品的 Rb- Sr 年龄与 Sm- Nd 年龄并不一致, 而 Rb- Sr 年龄普遍代表了区域变形变质热事件的年龄, 而非原岩形成年龄。

表2 丹凤岩群变质火山岩及相关侵入岩体同位素年龄值

Table 2 Isotopic ages of metabasic volcanic rocks in Danfeng Group complex and related intrusives

岩石名称	测定方法	年龄值/Ma	采样地点	资料来源
变质玄武岩	全岩 Rb- Sr 等时线	447.8 \pm 41.8	丹凤资峪	张国伟(1988)
斜长角闪岩	全岩 Rb- Sr 等时线	383 \pm 13	商县三十里铺	张宗清(1994)
酸性火山岩	锆石 U- Pb	388 \pm 8	商县三十里铺	张宗清(1994)
变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	825 \pm 27	丹凤武关彭家沟	裴先治(1997)
变质基性火山岩	全岩 Sm- Nd 等时线	984 \pm 36	周至黑河小王洞	张宗清(1996)
变质玄武岩	全岩 Sm- Nd 等时线	914~ 1015	丹凤郭家沟	张国伟(1996)
斜长角闪岩	全岩 Rb- Sr 等时线	858 \pm 18	天水花庙河	张维吉(1993)
变质基性火山岩	全岩 Rb- Sr 等时线	540 \pm 50	天水李子园	张维吉(1993)
奥长花岗岩	单颗粒锆石 Pb- Pb	487 \pm 6	丹凤资峪郭家沟	孙勇(1991)
奥长花岗岩	单颗粒锆石 Pb- Pb	540	丹凤资峪郭家沟	薛锋(1993)
垃圾庙苏长辉长岩	全岩- 矿物 Sm- Nd 等时线	403 \pm 17	商县三十里铺	李曙光(1989)
商南花岗岩体	单颗粒锆石 Pb- Pb	889 \pm 22	商南蒲沟	裴先治(1995)
舒家院变质中基性侵入岩	全岩 Sm- Nd 等时线	507 \pm 27	丹凤武关彭家沟	裴先治(1997)
变质辉长岩	全岩 Sm- Nd 等时线	974 \pm 86	丹凤资峪郭家沟	姜常义(1998)
宽坪花岗岩	全岩 Rb- Sr 等时线	358 \pm 12	丹凤武关彭家沟	裴先治(1997)
铁峪铺花岗岩	锆石 U- Pb	403 \pm 4	丹凤铁峪铺	张宗清(1994)

近年来, 张宗清等^[8, 12]在周至县黑河丹凤岩群变质基性火山岩中获全岩 Sm- Nd 等时

线年龄为 $984 \text{ Ma} \pm 36 \text{ Ma}$, $\epsilon\text{Nd}(t) = + 6.6 \pm 0.2$ 。姜常义等^[14]在丹凤县郭家沟地区获得与丹凤岩群变质火山岩同期形成并共生的变质辉长岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 $973.9 \text{ Ma} \pm 85.9 \text{ Ma}$, $\epsilon\text{Nd}(t) = + 4.51 \pm 1.31$, 模式年龄 T_{DM} 介于 $965 \text{ Ma} \sim 1411 \text{ Ma}$ 之间。

上述同位素年龄资料表明, 丹凤岩群主体形成于新元古代早期(800 Ma~ 1000 Ma), 并在晚加里东期—早海西期遭受强烈构造热事件改造。

3 丹凤岩群变质基性火山岩的地球化学特征与形成环境分析

3.1 地球化学特征

丹凤岩群变质基性火山岩的主量元素、微量元素和稀土元素含量列于表 3 中。变质基性火山岩的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TFeO 、 MgO 含量与岛弧玄武岩和钙碱性玄武岩非常相近。 TiO_2 含量较低, 介于 $0.23\% \sim 1.58\%$ 之间, 平均为 0.80% , 低于 MORB 的 TiO_2 平均含量 1.50% , 表明不同于 MORB。 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 图解表明属亚碱性系列, 在 AFM 图解上显示为以钙碱性系列为主体(图 3), 因而丹凤岩群变质基性火山岩主要为钙碱性系列岩石。在 $\text{TFeO}/\text{MgO} - \text{TiO}_2$ 图解上显示主要为岛弧玄武岩, 但较靠近 MORB 区(图 3)。变质基性火山岩的常量元素地球化学特征表明其属岛弧钙碱性玄武岩。

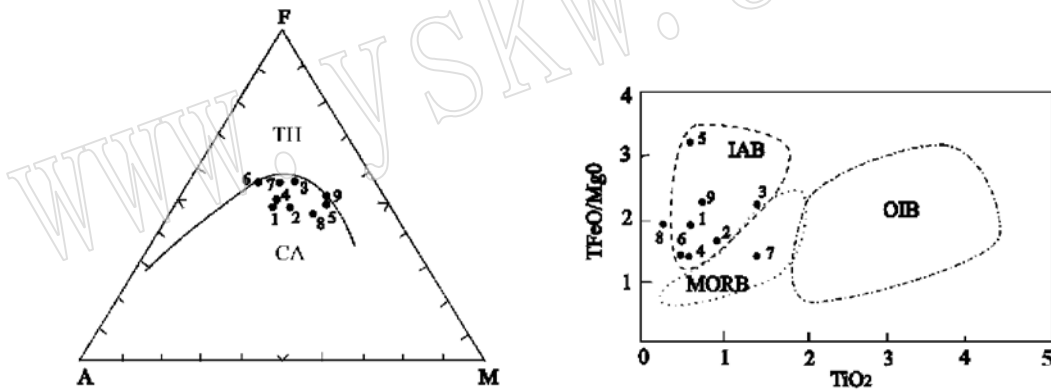


图 3 丹凤岩群变质基性火山岩 AFM 和 $\text{TFeO}/\text{MgO} - \text{TiO}_2$ 图解

Fig. 3 AFM and $\text{TFeO}/\text{MgO} - \text{TiO}_2$ diagrams for metabasic rocks in Danfeng Group complex

TH—拉斑玄武岩系列; CA—钙碱性系列; MORB—洋脊和洋底玄武岩; OIB—洋岛玄武岩; IAB—岛弧玄武岩;

图中投点序号见表 3

丹凤岩群变质基性火山岩的微量元素地球化学分布型式如图 4 所示, 与岛弧玄武岩相似, 而与典型 MORB 有很大差异, 表现为 Sr、K、Rb、Ba、Th、Ta 强烈富集, 明显高于 N-MORB, 同时还伴有 Ce、P 的微弱富集和 Hf、Sm 的富集, 而 Zr、Ti、Y、Yb、Cr 明显亏损, 低于 N-MORB; Zr/Y 比值为 $2.00 \sim 4.38$, Ti/Cr 比值为 $53 \sim 156$, Th/Yb 比值为 $1.63 \sim 2.95$, Ta/Yb 比值为 $0.23 \sim 0.89$; 但也看出丹凤岩群岛弧火山岩的 Ta 尤其是 Nb 大多数亏损不强, 这在一定程度上可能反映丹凤岩群基性火山岩在源区和成因上与蛇绿岩具有联系。在 Ti-Zr、Zr/Y-Zr 及 Ti-Cr、V-Ti、Ti/Cr-Ni 图解中显示大部分为岛弧玄武岩(VAB 或 IAB)(图 5), 部分图解显示具有 MORB 特征, 暗示可能与具 MORB 特征的蛇绿岩俯冲至地

表3 东秦岭商丹地区丹凤岩群变质基性火山岩主量元素(%)、微量元素和稀土元素分析结果($\times 10^{-6}$)

Table 3 Analyses of major elements, minor elements and rare earth elements in metabasic volcanic rocks of Danfeng Group complex

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样号	1442/1	1442/3	1442/4	1502/2	1502/4	3880/5	3910/4	1502/1	1502/5
SiO ₂	52.56	53.32	49.10	47.56	48.74	49.76	49.36	48.83	51.14
TiO ₂	0.61	0.99	1.42	0.65	0.60	0.41	1.58	0.23	0.75
Al ₂ O ₃	17.87	13.92	15.19	17.92	19.95	15.21	14.55	21.39	18.97
Fe ₂ O ₃	4.01	4.99	6.15	4.80	5.43	1.62	2.49	5.36	5.29
FeO	3.86	5.52	6.97	5.58	4.76	7.02	9.01	3.12	4.42
MnO	0.15	0.17	0.16	0.12	0.19	0.13	0.23	0.18	0.18
MgO	3.97	6.05	5.53	7.55	3.02	6.68	8.30	4.03	4.03
CaO	6.94	8.02	9.10	10.6	8.40	12.20	9.95	10.4	9.00
Na ₂ O	1.65	3.85	3.36	1.54	2.82	3.08	2.60	3.40	2.88
K ₂ O	2.66	1.18	1.12	1.26	2.30	0.80	0.29	1.12	1.26
P ₂ O ₅	0.20	0.042	0.22	0.16	0.06	0.06	0.14	0.06	0.19
H ₂ O ⁺	2.70	0.08	0.52	1.72	2.38	1.20	1.00	1.38	1.76
CO ₂	2.24	0.19	0.12	0.097	0.60	1.28	0.10	0.39	0.32
总量	99.67	99.562	99.60	99.587	99.23	99.45	99.63	99.89	100.19
Rb	62	20	18	30	17	29	34		
Sr	303	467	253	602	438	158	160		
Ba	876	185	215	290	373	76	54		
Th	8	6	5	4	2	3	5		
Ta	0.63	2.20	1.30	3.60	2.00	0.92	1.20		
Nb	18	15	20	5	4	4	9		
Zr	96	116	116	56	24	28	99		
Hf	6	5	6	5	6	1	2		
Y	21.9	25.7	31.0	21.7	12.0	9.76	26.4		
Sc	16.0	32.0	38.0	58.0	30.0	50.0	54.0		
Cr	69	62	77	71	23	584	251		
Co	23	38	51	32.1	259	37	37		
Ni	7	26	25	37.1	43	145	78		
V	118	226	286	265	143	209	247		
U	1.52	1.52	1.62			2.11	1.04		
La	36.3	18.6	18.7	15.5	7.14	2.25	7.59		
Ce	62.2	36.3	36.3	33.5	10.8	5.04	18.7		
Pr	7.06	4.56	4.54	4.07	1.49	0.69	2.48		
Nd	29.6	20.2	20.9	17.4	7.75	3.50	13.8		
Sm	5.58	4.74	5.19	3.62	1.99	1.04	3.43		
Eu	1.83	1.44	1.82	1.18	0.88	0.52	1.33		
Gd	4.74	4.58	5.49	3.05	1.69	1.50	4.15		
Tb	0.75	0.80	1.00	0.53	0.28	0.30	0.76		
Dy	4.85	4.97	6.08	3.34	1.79	2.27	6.80		
Ho	1.05	1.10	1.43	0.74	0.39	0.52	1.23		
Er	3.00	3.20	4.17	2.03	1.14	1.56	3.66		
Tm	0.45	0.42	0.50	0.26	0.17	0.23	0.46		
Yb	2.71	2.46	3.07	1.53	1.02	1.31	2.46		
Lu	0.42	0.40	0.47	0.26	0.16	0.12	0.34		
ΣREE	161.04	103.75	109.76	87.01	36.69	20.85	67.19		
LREE	143.07	85.82	87.45	75.27	30.05	13.04	47.33		
HREE	17.97	17.93	22.31	11.74	6.64	7.81	19.86		
LREE/HREE	7.96	4.79	3.92	6.41	4.53	1.67	2.38		
δEu	1.07	0.94	1.05	1.07	1.44	1.29	1.09		
(La/Yb) _N	8.95	4.98	4.01	6.67	4.61	1.13	2.03		
(La/Sm) _N	4.01	2.39	2.19	2.61	2.18	1.32	1.35		
(Ce/Yb) _N	5.86	3.76	3.02	5.59	2.70	0.98	1.94		
(Gd/Yb) _N	1.40	1.49	1.43	1.60	1.33	0.92	1.35		

注: 主量元素、微量元素由原地质矿产部西安综合岩矿测试中心用 XRF 法分析; 稀土元素及 Y 由原地质矿产部宜昌地质矿产研究所用 ICP 法分析。

壳深部而成为岛弧火山岩的部分源区有关。因此,丹凤岩群变质基性火山岩的微量元素地球化学特征总体仍显示出以岛弧钙碱性玄武岩为主的特点。

丹凤岩群变质基性火山岩的稀土元素分配型式见图 6,可分为两组:第一组稀土元素总量较高, $\Sigma\text{REE} = (87.01 \sim 161.04) \times 10^{-6}$, 稀土分布曲线呈 LREE 较富集型, 轻重稀土比值较大, $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.92 \sim 7.96$, 基本无 Eu 异常, $\delta\text{Eu} = 0.94 \sim 1.07$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 4.01 \sim 8.95$, $(\text{Ce}/\text{Yb})_N = 3.02 \sim 5.86$, $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2.19 \sim 4.01$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.40 \sim 1.60$; 第二组稀土元素总量较低, $\Sigma\text{REE} = (20.85 \sim 67.19) \times 10^{-6}$, 稀土分布曲线呈 LREE 稍富集型, 轻重稀土比值较小, $\text{LREE}/\text{HREE} = 1.67 \sim 4.53$,

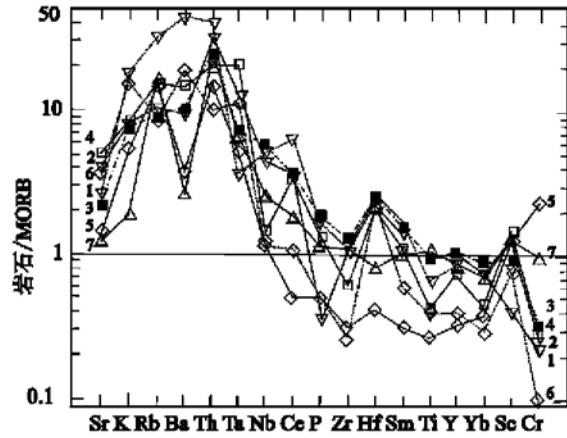


图 4 丹凤岩群变质基性火山岩的微量元素地球化学分布型式

Fig. 4 Geochemical distribution patterns of minor elements in metabasic volcanic rocks of Danfeng Group complex
图中投点序号见表 3

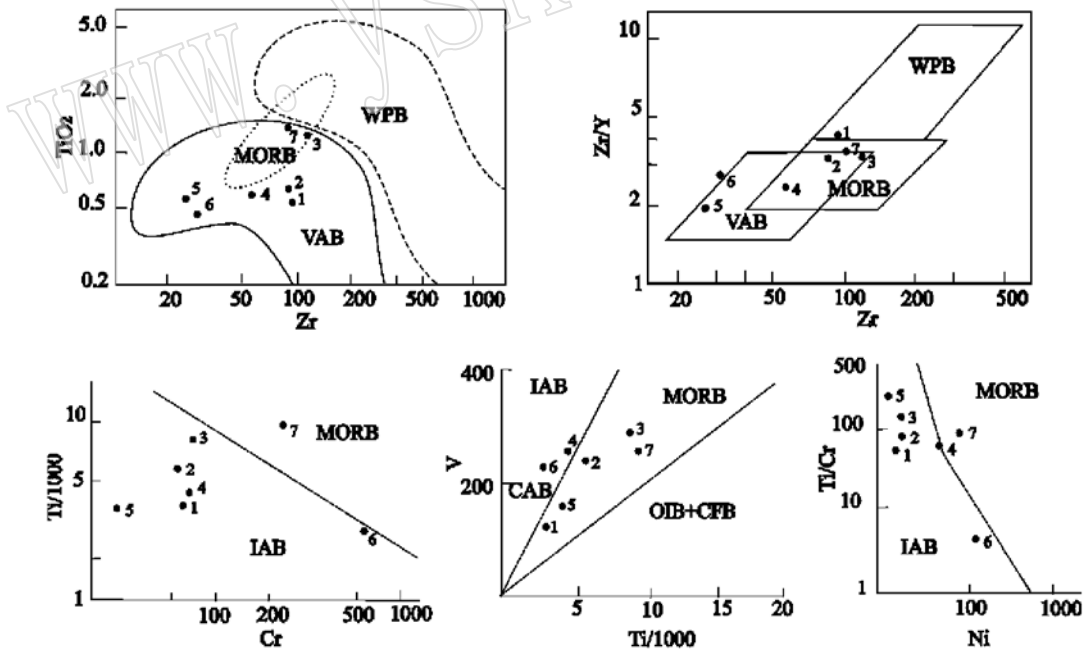


图 5 丹凤岩群变质基性火山岩的 TiO_2 -Zr, Zr/Y-Zr, Ti-Cr, V-Ti 和 Ti/Cr-Ni 图解

Fig. 5 TiO_2 -Zr, Zr/Y-Zr, Ti-Cr, V-Ti and Ti/Cr-Ni diagram for metabasic volcanic rocks in Danfeng Group complex

MORB—洋脊玄武岩; VAB, IAB—岛弧玄武岩; WPB—板内玄武岩; CAB—钙碱性玄武岩; OIB—洋岛玄武岩; CFB—大陆玄武岩; 图中投点序号见表 3

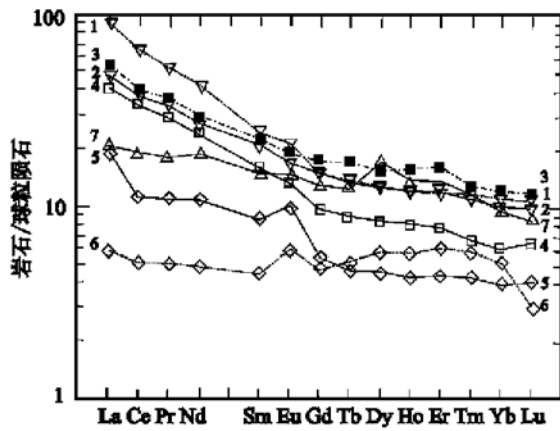


图6 丹凤岩群变质基性火山岩的稀土元素分配型式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of metabasic volcanic rocks in Danfeng Group complex

图中投点序号见表3

有弱的正Eu异常, $\delta\text{Eu} = 1.09 \sim 1.44$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.13 \sim 4.61$, $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.98 \sim 2.70$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 1.32 \sim 2.18$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.92 \sim 1.35$ 。稀土元素地球化学特征也类似于岛弧型玄武岩^[20~21]。

3.2 丹凤岩群形成环境分析

对丹凤岩群变质基性火山岩的性质和形成环境虽然有不同认识,但多数研究者认为其主要是由LREE富集的钙碱性玄武岩组成的,形成于岛弧构造环境,主体不是蛇绿岩^[11,13~15]。前述丹凤岩群变质基性火山岩的微量元素、稀土元素和同位素地球化学证据说明,丹凤岩群变质基性火山岩主要为形成于古岛弧环境的钙碱性玄武岩,同时还反映出丹

凤岩群基性火山岩在源区和成因上与蛇绿岩具有一定联系,暗示可能与具MORB特征的蛇绿岩俯冲至地壳深部而成为岛弧火山岩的部分源区有关。

4 丹凤岩群形成的大地构造背景及北秦岭新元古代构造体制讨论

位于丹凤岩群南侧的中元古代武关岩群为一套中级变质的陆缘碎屑岩-碳酸盐岩-基性火山岩组合。其中的变质基性火山岩的岩石地球化学特征及同位素资料表明,其主体为大陆(板内)拉斑玄武岩^[15],并可能是亏损型地幔和富集型地幔组分的混合物,是由软流圈地幔柱物质的上涌并引起上覆不均一的岩石圈地幔部分熔融而形成的。岩石的地质产状表明,丹凤岩群基性火山岩与陆缘碎屑沉积岩和碳酸盐岩共生,因而也不是蛇绿岩,而是形成于中元古代期间秦岭地区大规模地壳拉张裂谷构造背景下的北秦岭地块与南部中秦岭地块之间岩石圈初始拉张裂谷阶段的产物,其后的进一步拉张则产生了具小洋盆性质的松树沟蛇绿岩(1030 Ma^[22])以及秦岭古洋盆的形成,并在1000 Ma左右开始发生向北的俯冲作用,形成北秦岭沟弧盆系活动大陆边缘,在北秦岭南缘产生新元古代丹凤岩群岛型火山岩系以及在华北地块南缘中元古代宽坪岩群裂谷基础上的二郎坪群(下部)的新元古代弧后盆地型火山岩系,并进一步发生松树沟蛇绿岩构造岩片的构造就位。晋宁期(1000 Ma~800 Ma)大规模岛弧型和碰撞型构造岩浆活动以及北秦岭元古宙地质体中广泛而普遍的变质变形作用^[23]。这表明,晋宁期是北秦岭从中元古代的裂谷构造体制向新元古代板块构造体制的重要转变时期,丹凤岩群是在秦岭古洋盆向北秦岭地壳之下俯冲作用下形成的岛弧型火山岩系,商丹构造带是秦岭造山带中晋宁期的主要俯冲碰撞构造带。

因此,丹凤岩群变质基性火山岩形成于新元古代主造山期板块构造体制下的活动陆缘的古岛弧构造环境。这一认识对于丰富秦岭商丹构造带的组成以及进一步深化认识秦岭造山带元古宙的构造体制及其转换机制、造山过程及其动力学均具有重要的地质意义。

5 结 论

东秦岭丹凤岩群位于北秦岭造山带南源的秦岭商丹构造带上, 为一套强烈变形变质的以火山岩- 碎屑岩组合为主的构造岩片体, 其中变质基性火山岩的全岩 Sm- Nd 同位素等时线年龄资料表明其主体形成于新元古代早期(800 Ma~ 1 000 Ma), 并在晚加里东期一早海西期遭受强烈构造热事件的改造。变质基性火山岩的岩石地球化学特征表明, 丹凤岩群实属岛弧型火山岩系, 形成于秦岭造山带新元古代早期主造山期板块构造体制下的活动陆缘古岛弧构造环境。

参考文献:

- [1] Mattauter M, Matte P H, Malavieilla J, et al. Tectonics of Qinling Belt: Belt- up and evolution of Eastern Asia[J]. *Nature*, 1985, 317: 496~ 500.
- [2] 张国伟. 秦岭造山带的形成及其演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1988. 1~ 74.
- [3] 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 东秦岭复合山链的形成——变形 演化及板块动力学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 149~ 154.
- [4] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 58~ 66.
- [5] 杨森楠. 东秦岭古生代陆间裂谷系的演化[J]. *地球科学*, 1985, (4): 53~ 62.
- [6] 杨巍然, 杨森楠. 造山带研究的现代理论和研究方法——东秦岭造山带剖析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 142~ 144.
- [7] 邓清录, 杨巍然. 秦岭造山带早古生代“开”“合”构造格局及加里东运动[J]. *地质科技情报*, 1996, 15(2): 45~ 50.
- [8] 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(3): 216~ 222.
- [9] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. *中国科学(B辑)*, 1995, 25(9): 994~ 1003.
- [10] 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 1995, 11(2): 101~ 115.
- [11] 张本仁, 欧阳建平, 韩吟文, 等. 北秦岭古聚合带壳幔再循环[J]. *地球科学*, 1996, 21(5): 469~ 475.
- [12] 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 秦岭蛇绿岩的年龄: 同位素年代学和古生物证据、矛盾及其理解[A]. 张 旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究[C]. 北京: 地质出版社, 1996. 146~ 149.
- [13] 张 旗, 张宗清, 孙 勇, 等. 陕西商县- 丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学[J]. *岩石学报*, 1995, 11(增刊): 43~ 54.
- [14] 姜常义, 赵太平, 苏生瑞, 等. 北秦岭侵入岩带与晋宁运动[M]. 北京: 地质出版社, 1998. 21~ 97.
- [15] 裴先治. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化[M]. 西安: 西安地图出版社, 1997. 184.
- [16] 裴先治, 李厚民, 李国光, 等. 东秦岭商丹构造带主要地质体的同位素年龄及其构造意义[J]. *地球学报*, 1997, 18(增刊): 40~ 42.
- [17] 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.
- [18] 张成立, 周鼎武, 韩 松. 陕西商州地区丹凤变质火山岩的地球化学特征[J]. *地质科学*, 1994, 29(4): 384~ 392.
- [19] 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐钕同位素年龄证据[J]. *中国科学(B辑)*, 1989, 38(3): 312~ 319.
- [20] Culler R L and Graf J L. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust, Predominantly basic and ultrabasic

- sic rocks[A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry[C]. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, 1984. 237~ 316.
- [21] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 162~ 189.
- [22] 董云鹏, 周鼎武, 刘 良. 东秦岭松树沟蛇绿岩 Sm- Nd 同位素年龄的地质意义[J]. 中国区域地质, 1997, 16(2): 217~ 221.
- [23] 裴先治, 王 洋, 王 涛. 北秦岭前寒武纪地壳组成及其构造演化[J]. 前寒武纪研究进展, 1998, 21(4): 26~ 35.

A Study of Formation Epoch and Tectonic Attribute of the Danfeng Group Complex in East Qinling Mountains

PEI Xian_zhi^{1,2}, LI Hou_min², LI Guo_guang²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;

2. Faculty of Earth Sciences, Chang'an University, Xi'an 710054)

Abstract: Located on the Shangdan tectonic zone, the Danfeng Group complex in the East Qinling mountains was on whole formed in Newproterozoic (1 000~ 800Ma). Petrogeochemical characteristics of metabasic volcanic rocks within the complex of this group show that, instead of being ophiolite, they are island_arc type volcanic rocks formed in an active epicontinental paleoisland_arc tectonic environment under the plate tectonic system of Newproterozoic main orogenic epoch in Qinling orogenic belt.

Key words: Danfeng Group complex; Sm- Nd isotopic age; New proterozoic; geochemistry; tectonic attribute; East Qinling.