

# 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学特征

邹先武 段其发 汤朝阳 曹 亮 崔 森 赵武强 夏 杰 王 磊

(武汉地质矿产研究所, 湖北 武汉 430223)

**摘要:**北大巴山地区广泛分布的北西-南东向基性岩脉(墙)群, 主要侵位于下古生界。前人对其中、北部紫阳-岚皋地区基性岩年代学和地球化学已有研究, 但其南部镇坪地区基性岩却鲜有高精度年龄和地球化学数据报道。本文对镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果为  $(439 \pm 6) \text{Ma}$  ( $n=9$ ,  $\text{MSWD}=1.7$ ), 与紫阳-岚皋地区基性岩及火山岩形成时代一致。岩石富  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ , 具双峰式岩石组合特征。稀土元素总含量高, 轻稀土元素相对富集, 轻重稀土分异明显, 配分模式为向右陡倾型; 大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、U)和高场强元素(Nb、Ta 等)相对富集, Y、Yb、Sr 相对亏损; 具大陆裂谷玄武岩的地球化学特征。微量元素  $\text{Zr}/\text{Y}-\text{Zr}$  和  $2\text{Nb}-\text{Zr}/4-\text{Y}$  图解亦指示其具板内裂谷玄武岩特征。结合前人的研究结果表明, 北大巴山地区在早志留世早期处于张裂状态, 该区基性岩和火山岩为岩石圈处于拉张状态下大陆裂谷作用产物。

**关键词:**锆石 SHRIMP U-Pb 定年; 岩石地球化学; 辉绿岩; 镇坪; 北大巴山

**中图分类号:** P597; P591      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2011)02-0282-10

南秦岭构造带出露了近乎连续的寒武纪—三叠纪地层, 并在北大巴山地区的陕西紫阳—岚皋—镇坪和湖北竹溪等地的早古生代地层中发育有一套呈北西-南东向的超基性-基性岩墙(脉)和基性火山岩(图 1), 该套岩系为揭示秦岭造山带早古生代构造演化、深部地幔状态和动力学过程等问题提供了难得的地质体<sup>[1]</sup>。前人已对区内的基性岩墙(脉)和火山岩及其幔源捕掳体的岩石学、矿物学及地球化学开展了大量研究, 并提出它们是早古生代晚期南秦岭被动陆缘裂陷拉张下幔源岩浆活动的产物<sup>[1-10]</sup>。然而, 对于该区基性岩和火山岩的同位素年代学研究还很有限, 且主要集中在该区中、北部的紫阳—岚皋地区<sup>[12, 61]</sup>, 其南部镇坪地区的基性岩脉仅有一全岩 Rb-Sr 等时线年龄报道<sup>[20]</sup>, 在一定程度上制约了对秦岭主造山前构造演化的深入认识。本文报道位于北大巴山南部镇坪地区辉绿岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其主量和微量元素地球化学特征, 并结合区域上已有的研

究成果, 探讨其性质及构造指示意义, 为进一步揭示秦岭主造山前的构造演化提供新的制约。

## 1 地质背景

北大巴山地区在大地构造位置上属于扬子地块北部被动大陆边缘与秦岭造山带南缘接触带, 由钟宝—城口断裂和石泉—安康断裂所限(图 1)。区内地层主要为震旦纪—早古生代海相碎屑岩-碳酸盐岩, 局部出露前震旦纪中浅变质岩系。在早古生代地层中普遍发育一套基性侵入岩、火山岩及少量的超基性岩脉(墙)。岩脉宽十米到百余米、长数百米到数千米不等, 呈北西-南东向展布, 向西至陕西紫阳、岚皋, 往东达湖北竹溪; 岩脉多呈顺层或小角度切割地层侵入。本次研究的镇坪地区位于该岩脉(墙)带的东南部, 主要岩石类型有: 细粒角闪辉石岩、细-中粒含长角闪辉石岩、辉绿岩、辉长岩、正长闪长岩。符合同一母岩浆由超基性-基性-中性演化的一般

收稿日期: 2010-07-26; 改回日期: 2010-11-19

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010981042)资助。

作者简介: 邹先武, 男, 1971 年生, 高级工程师, 主要从事矿产勘查与研究工作; E-mail: zwx1502@163.com。

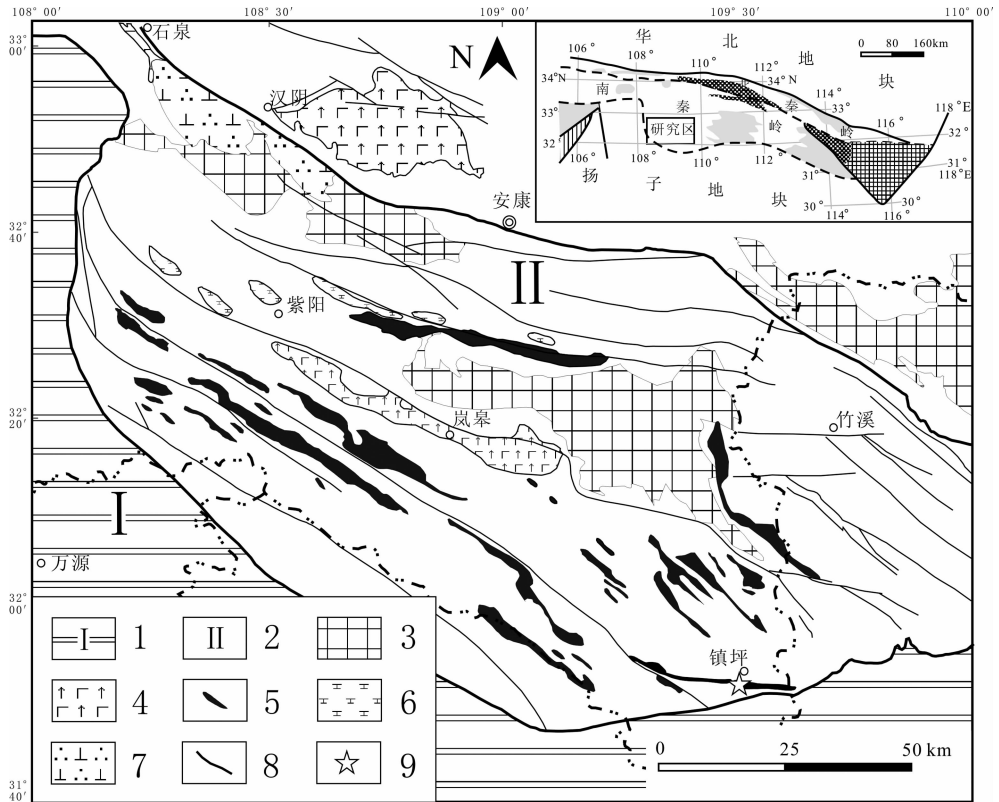


图 1 北大巴山地区地质简图

- 1—扬子地块区; 2—扬子地块北部陆缘区; 3—前寒武隆起区; 4—苦橄岩-碱性玄武岩;
- 5—基性岩脉(墙); 6—粗面岩; 7—石英闪长岩; 8—断层; 9—测年采样点

Fig.1 Geological sketch map of North Daba Mountain

- 1—Yangtze block area; 2—Northern margin of Yangtze block; 3—Precambrian uplift area;
- 4—Picrite-alkaline basalt; 5—Mafic dykes; 6—Trachyte; 7—Quartz-diorite; 8—Fault; 9—Position of dating sampling

规律。受区域变质作用的影响,岩体不同程度地发生褶皱及片理化,并显示与围岩协调的构造关系,其片理方向与区域面理一致。

## 2 锆石 SHRIMP U-Pb 定年

### 2.1 样品特征及分析方法

用于分选锆石的全岩样品采自陕西省镇坪县城南约 4 km 处(地理坐标:东经 109°30'24",北纬 31°52'33"),为公路开挖所揭露,样品新鲜,重约 15 kg。岩性为辉绿岩,具辉绿结构,块状构造。矿物组成:拉长石 46%~55%、单斜辉石 34%~40%、普通角闪石 5%~6%、磁铁矿 1%~3%、钛铁矿 1%、磷灰岩 1%~3%。具轻微变质,其中单斜辉石已不同程度被角闪石和绿泥石取代,但保留辉石短柱状晶形假象;拉长石去钙化,具弱黝帘石化及钠长石化。

原岩经破碎、淘洗、磁选等处理后分选出锆石单

矿物。在双目镜下挑选出尽可能无裂隙、无包体的锆石,与标准锆石 TEM 共置于环氧树脂中制成样品靶,抛光至锆石中心部位出露。在测试之前,进行反射、透射光拍照及阴极发光(CL)照相。共测定了其中的 12 个颗粒。

锆石 U-Th-Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 仪器上进行,详细的实验原理及流程见参考文献 [12-13]。分析时一次离子为 4.5 nA, 10 kV 的 O<sub>2</sub><sup>-</sup>,一次离子流束斑 25~30 μm。采用标准锆石 SL13 进行 U 含量校正,TEM(417Ma)进行 U-Pb 年龄校正。数据处理采用 SQUID1.0 及 ISOPLOT<sup>[14]</sup> 程序完成。普通铅据实测 <sup>204</sup>Pb 进行校正。单个年龄的数据误差为 1σ,所采用的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄误差为 2σ。

### 2.2 测试结果

镇坪地区辉绿岩中锆石颗粒均为自形到半自

形,长度为 80~250  $\mu\text{m}$ ,长宽比为 2.5~5。阴极发光图像显示 12 颗锆石晶形完整,发光性较好,无明显的环带(图 2)。对这 12 颗锆石进行了 12 个点的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测试,结果列于表 1 和图 3。12 个分析点 U、Th 含量分别为  $130\times 10^{-6}$ ~ $424\times 10^{-6}$  和  $166\times 10^{-6}$ ~ $688\times 10^{-6}$ ,Th/U 比值为 1.32~1.93,主要集中在 1.50~1.77,具有岩浆锆石的特征<sup>[15,16]</sup>。测试过程中未发现较老的锆石颗粒或核部的残留锆石,不同锆石晶体具有接近的 Th/U 比值和 U 含量,说明锆石是从相对均匀的岩浆中结晶形成。 $^{206}\text{Pb}$  含量范围为 1.01%~4.32%; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $(503.5\pm 10.9)\text{Ma}$ ~ $(410.2\pm 8.8)\text{Ma}$ ,剔除 3 个离群点(分析点 4.1、7.1、12.1)后 9 个分析点的加权平均年龄为  $(439\pm 6)\text{Ma}$ (MSWD=1.7),该年龄代表镇坪地区基性岩的侵入结晶年龄。3 个离群的分析点(4.1、7.1、12.1) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $(503.5\pm 10.9)\text{Ma}$ 、 $(468.2\pm 9.5)\text{Ma}$ 、 $(410.2\pm 8.8)\text{Ma}$ 。

### 3 岩石地球化学特征

#### 3.1 分析方法

主量和微量元素含量测试均在武汉地质矿产研

究所中南实验检测中心完成:主量元素采用 XRF 法测试,分析精度高于 1%,其中 FeO 和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  以及烧失量用湿化学法单独分析;微量元素(含稀土元素)采用 ICP-MS 法完成,分析精度一般优于 5%。

#### 3.2 主量元素特征

镇坪地区基性岩的主量元素和微量元素分析结果见表 2。岩石的  $\text{SiO}_2$  含量为 44.64%~62.64%,变化较大; $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量变化于 12.80%~15.77%,平均 14.35%; $\text{TiO}_2$  含量较高,为 1.20%~4.45%; $\text{Na}_2\text{O}$  含量为 3.29%~5.65%, $\text{K}_2\text{O}$  含量为 1.21%~3.38%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=1.67\sim 2.98$ ;全碱( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )含量为 4.70%~9.03%;TFeO 含量为 2.18%~7.54%;MgO 含量为 1.41%~6.05%, $\text{Mg}^\#$  值为 0.19~0.28。其中 D0212-3B、D0212-4B 这 2 个样品  $\text{SiO}_2$  含量偏高、TFe 偏低,可能是岩体侵位结晶过程中混入了地壳物质。总体显示富钾、高钛。在  $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  (TAS)图解中(图 4),镇坪地区基性岩落入碱性岩系列粗面玄武岩-粗面岩,并且多数样品相对集中分布在中基性岩,少数样品偏超基性。结合北大巴山中、北部紫阳-岚皋地区基性岩的主量元素地球化学资料,显示区内各类岩石相对集中分布于基性(部分为苦橄玄武岩)和

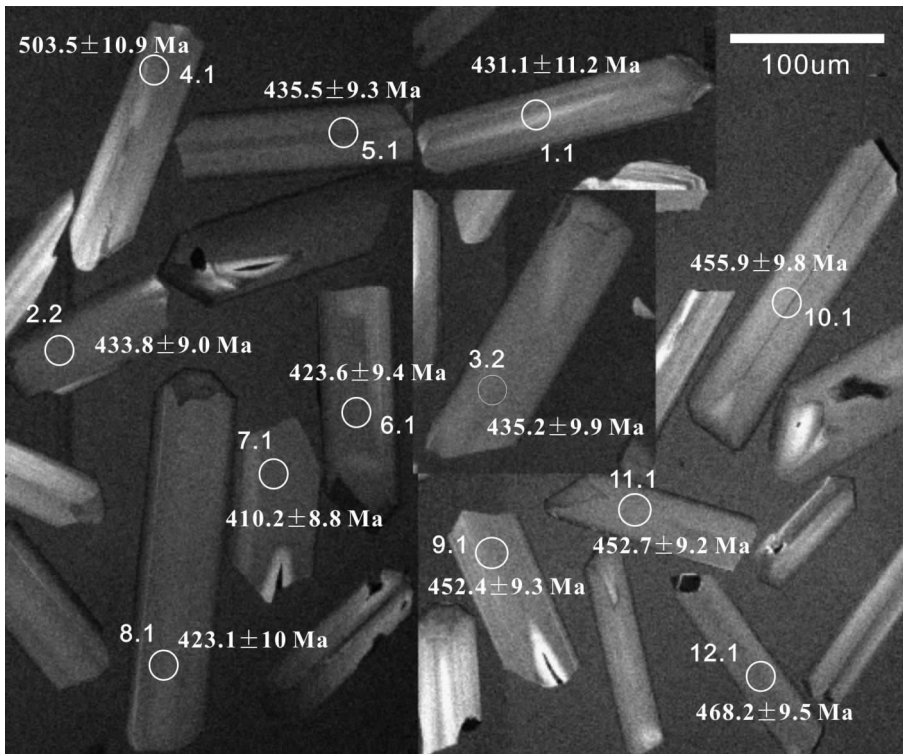


图 2 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石的阴极发光图像

Fig.2 CL images of zircons from diabase in Zhenping area of North Daba Mountain

表 1 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Th-Pb 分析结果

Table 1 SHRIMP U-Th-Pb data of zircons from diabase in Zhenping area of North Daba Mountain

样品编号	含量/ $10^{-6}$		$^{206}\text{Pb}$ c		$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	同位素比值				表面年龄/Ma		误差相关系数		
	U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$	(%)		$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
D0212-1.1	130	166	8.1	4.58	1.32	0.0541	28	0.672	14	0.0705	2	431.1	11.2	0.164
D0212-2.2	424	640	25.7	1.16	1.56	0.0607	6	0.618	4	0.0699	2	433.8	9.0	0.514
D0212-3.2	263	377	16.5	4.36	1.48	0.0525	16	0.596	7	0.0706	2	435.2	9.9	0.330
D0212-4.1	375	543	27.3	4.32	1.50	0.0544	16	0.527	12	0.0805	2	503.5	10.9	0.173
D0212-5.1	280	459	17.3	2.89	1.69	0.0517	10	0.583	5	0.0706	2	435.5	9.3	0.411
D0212-6.1	295	551	18.0	4.16	1.93	0.0438	18	0.598	7	0.0695	2	423.6	9.4	0.305
D0212-7.1	354	605	20.5	2.28	1.77	0.0523	12	0.616	6	0.0669	2	410.2	8.8	0.375
D0212-8.1	345	542	20.4	1.63	1.62	0.0549	8	0.608	4	0.0686	2	423.1	10.0	0.646
D0212-9.1	293	454	18.6	1.72	1.60	0.0541	6	0.567	4	0.0729	2	452.4	9.3	0.536
D0212-10.1	230	311	15.0	3.74	1.40	0.0536	11	0.619	5	0.0739	2	455.9	9.8	0.402
D0212-11.1	424	688	26.8	1.01	1.68	0.0534	5	0.517	4	0.0726	2	452.7	9.2	0.524
D0212-12.1	371	599	24.4	1.57	1.67	0.0540	6	0.591	3	0.0756	2	468.2	9.5	0.764

注： $^{206}\text{Pb}$ c 为属于普通  $^{206}\text{Pb}$  占总  $^{206}\text{Pb}$  的百分比； $\text{Pb}^*$  为放射成因铅；普通铅用实测的  $^{204}\text{Pb}$  进行校正。

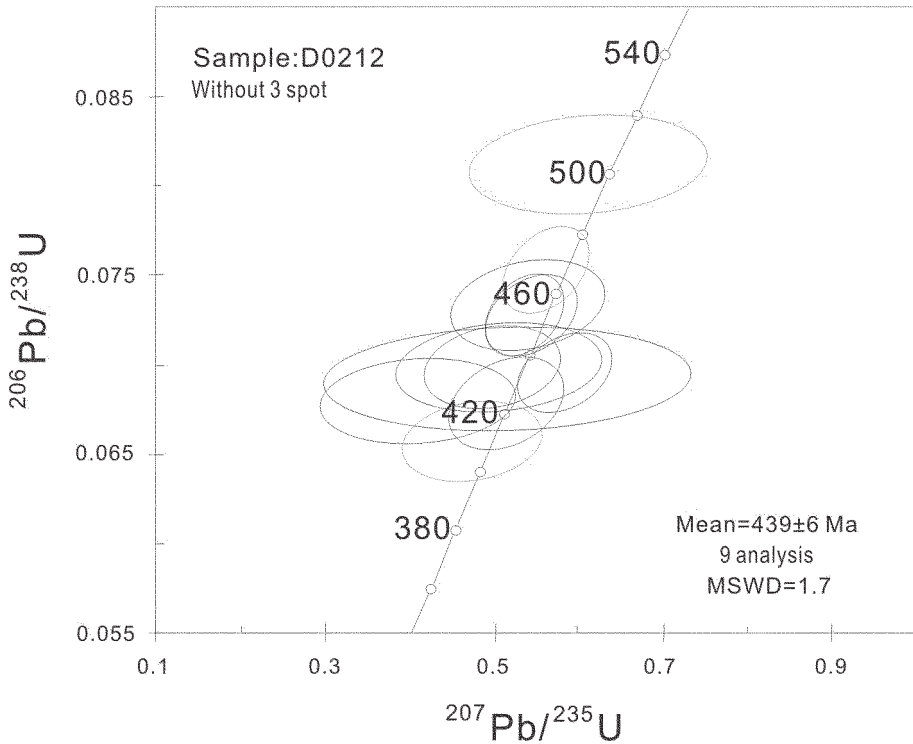


图 3 北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig.3 U-Pb concordia diagram of zircons from diabase in Zhenping area of North Daba Mountain

表 2 北大巴山镇坪地区辉绿岩主量元素( $10^{-2}$ )和微量元素( $10^{-6}$ )分析结果  
 Table 2 Major element ( $10^{-2}$ ) and trace element ( $10^{-6}$ ) content of Zhengping diabase

样号	D0212-1B	D0212-2B	D0212-3B	D0212-4B	D0212-5B	D0212-6B
SiO <sub>2</sub>	45.67	52.83	62.64	56.61	45.28	44.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.94	14.8	15.65	15.77	12.80	14.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.66	1.26	0.85	0.98	1.78	1.62
FeO	11.86	8.21	4.51	6.77	12.08	11.72
CaO	8.35	5.76	2.59	4.25	9.26	8.02
MgO	6.05	3.48	1.41	2.67	4.92	4.85
K <sub>2</sub> O	1.21	1.81	3.38	2.46	1.56	1.65
Na <sub>2</sub> O	3.49	5.40	5.65	5.36	3.29	3.38
TiO <sub>2</sub>	3.35	2.31	1.20	1.87	4.19	4.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.81	1.04	0.34	0.71	1.62	0.81
MnO	0.30	0.22	0.15	0.23	0.28	0.24
灼失	1.51	1.18	0.62	1.14	1.12	2.60
总量	98.20	98.30	98.99	98.81	98.18	98.14
La	52.6	58.8	75.1	66.2	43.6	27.9
Ce	117.0	126.0	156.0	140.0	96.6	61.3
Pr	17.3	18.1	21.3	19.7	14.3	9.1
Nd	76.0	76.7	85.7	82.6	63.2	40.3
Sm	16.50	16.40	17.30	16.90	13.80	8.92
Eu	5.42	5.28	5.08	5.45	4.62	3.11
Gd	13.40	13.00	13.80	13.60	11.40	7.43
Tb	1.97	1.98	2.14	2.08	1.70	1.13
Dy	9.18	9.14	10.10	9.46	7.91	5.29
Ho	1.60	1.59	1.82	1.62	1.36	0.91
Er	3.65	3.65	4.27	3.78	3.18	2.13
Tm	0.54	0.55	0.65	0.54	0.46	0.30
Yb	3.04	3.14	3.70	3.03	2.66	1.79
Lu	0.40	0.39	0.47	0.37	0.35	0.23
Cu	25.1	58.4	58.2	36.1	34.8	38.8
Pb	96.10	2.14	1.52	2.05	1.96	26.00
Zn	144.0	91.5	63.6	119.0	116.0	132.0
Cr	6.63	7.80	3.56	6.88	2.74	2.19
Ni	2.86	2.99	2.22	2.60	2.54	11.30
Co	26.00	14.90	3.89	7.71	34.50	37.90
Rb	24.2	34.8	41.2	36.9	30.6	33.1
Sr	1620	1370	670	820	1260	1330
Ba	1910	2900	3160	2310	2260	2850
Sc	15.50	16.00	9.79	13.00	21.90	23.70
Nb	42.9	49.1	71.0	64.0	40.0	31.0
Ta	2.71	3.00	4.20	3.62	2.52	2.01
Zr	213	237	454	384	200	162
Hf	5.52	6.22	11.30	9.31	5.18	4.24
U	0.70	0.85	1.60	1.17	0.61	0.52
Th	3.19	4.12	6.59	5.44	2.80	2.17
Mg <sup>#</sup>	0.28	0.25	0.19	0.23	0.24	0.24
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	2.88	2.98	1.67	2.18	2.11	2.05
SREE	318.6	334.7	397.4	365.3	265.1	169.8
LREE/HREE	8.43	9.01	9.76	9.60	8.14	7.84
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	12.41	13.43	14.56	15.67	11.76	11.18
dEu	1.11	1.11	1.01	1.10	1.13	1.17

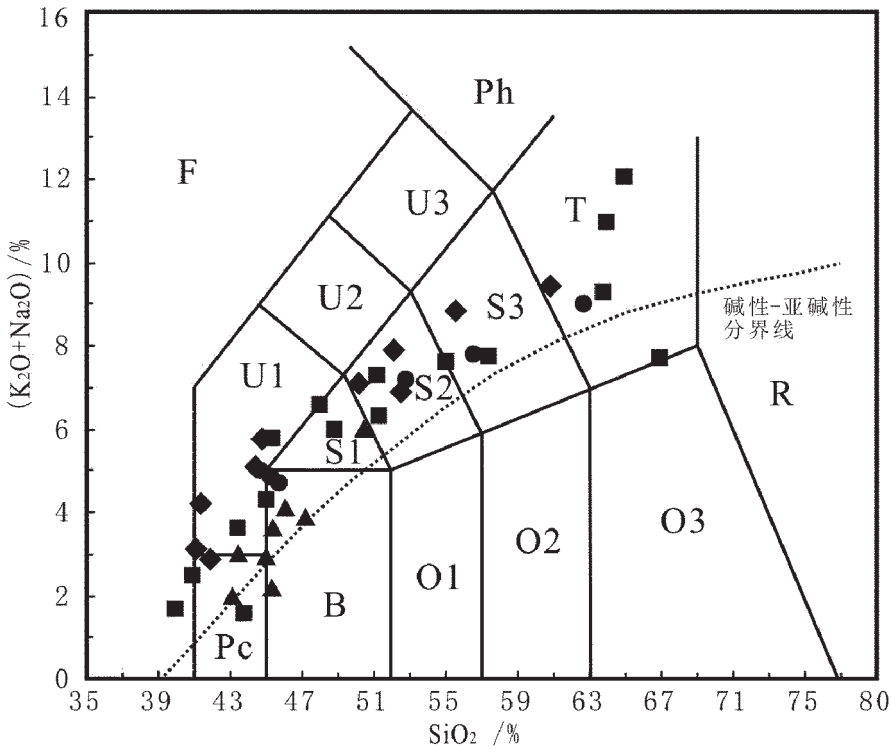


图 4 北大巴山地区基性岩脉(墙)TAS 分类图(底图据 LeBas<sup>[17]</sup>)

(● 本文; ▲ 引自董云鹏等<sup>[9]</sup>; ■ 引自张成立等<sup>[10]</sup>; ◆ 引自王存智等<sup>[11]</sup>)

F—副长石岩; Pc—苦橄玄武岩; U1—碱玄武岩(碧玄武岩); U2—响岩质玄武岩; U3—碱玄武质响岩; Ph—苦橄玄武岩; B—玄武岩; S1—粗面玄武岩; S2—玄武质粗面安山岩; S3—粗面安山岩; T—粗面岩(粗面英安岩); O1—玄武安山岩; O2—安山岩; O3—英安岩石; R—流纹岩

Fig.4 TAS nomination diagram for rock classification of basic dike swarms in North Daba Mountain (after LeBas<sup>[17]</sup>)

(● From the authors; ▲ From Dong Yunpeng et al. <sup>[9]</sup>; ■ From Zhang Chengli et al.<sup>[10]</sup>; ◆ From Wang Cunzhi et al.<sup>[11]</sup>)  
 F—Foidite; Pc—Picro-basalt; U1—Tephrite (basanite); U2—Phonotephrite; U3—Tephriphonolite; Ph—Phonolite; B—Basalt; S1—Trachy-basalt; S2—Basaltic trachy-andesite; S3—Trachy-andesite; T—Trachyte-trachydacite; O1—Basaltic-andesite; O2—Andesite; O2—Dacite; R.Rhyolite

酸性岩两个端元,构成了一套双峰式岩石组合。岩石 Mg# 值低,指示它们为岩浆高度演化后的产物。

### 3.3 微量元素特征

镇坪地区基性岩稀土元素总量( $\Sigma$ REE)较高,变化范围为  $(169.8\sim 397.4)\times 10^{-6}$ ; LREE/HREE 为 7.84~9.76,  $(La/Yb)_N$  为 11.18~15.67,表明岩石均不同程度富集轻稀土,轻重稀土分异较强;具微弱的正铕异常,  $\delta Eu$  为 1.01~1.17。在球粒陨石标准化配分模式图解上(图 5-a),6 个岩石样品稀土配分模式基本一致,显示出轻稀土元素强富集型的右倾型配分模式,与大陆板内拉板玄武岩类似<sup>[9,11]</sup>。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5-b)上,各样品中不相容元素分布趋势基本一致,大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、U)和高场强元素(Nb、Ta 等)相对富集, Y、Yb、Sr 相对亏损。这些特征与前人对该区

中北部基性岩微量元素的研究结果基本一致,具有类似的微量元素蛛网图配分模式(图 5-b),与该区火山岩微量元素蛛网图不同之处在于火山岩中 Ba 元素无显著富集<sup>[9,11]</sup>。Nb、Ta 富集特征显示与岛弧玄武岩(IAB)的差别,也明显不同于洋中脊玄武岩(MORB),总体上具有板内玄武岩微量元素的一般特征。

## 4 讨论与结论

本次对北大巴山镇坪地区辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果为  $(439\pm 6)\text{Ma}$  ( $n=9$ , MSWD=1.7)。这一年龄与前人采用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法对北大巴山紫阳—岚皋地区基性岩墙(脉)定年结果  $(433.3\pm 4.1)\text{Ma}$  (MSWD=0.055)<sup>[1]</sup>和  $(431.0\pm 3.2)\text{Ma}$  (MSWD=3.6)<sup>[11]</sup>基本一致,表明该地区

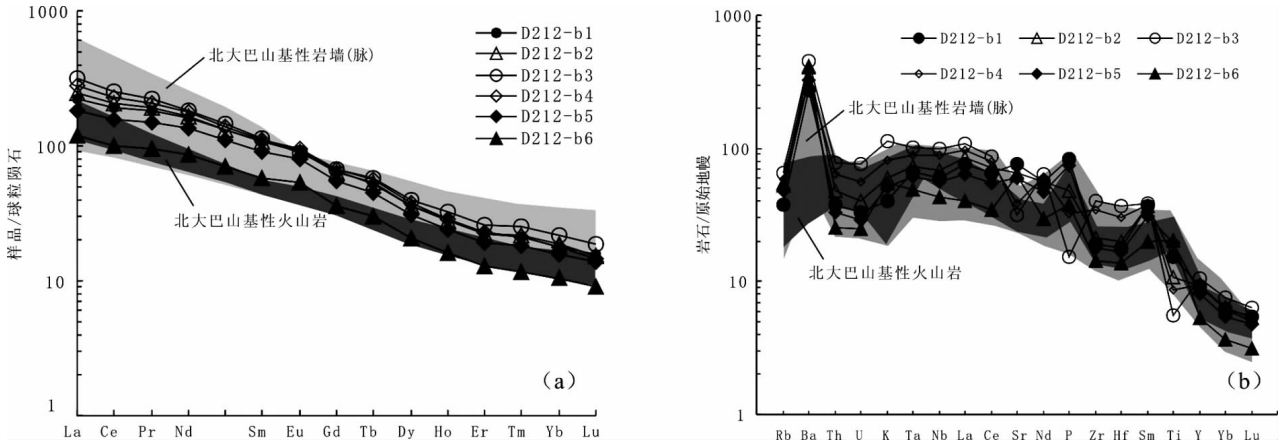


图5 北大巴山镇坪地区基性岩稀土元素配分型式(a)和微量元素蛛网图(b)(标准化数据据 Sun<sup>[19]</sup>)  
 (北大巴山基性岩墙(脉)数据引自张成立等<sup>[10]</sup>和王存智等<sup>[11]</sup>;北大巴山基性火山岩数据引自董云鹏等<sup>[9]</sup>)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements diagrams (b) for basic dikes in Zhenping area of North Daba Mountain (normalizing values after Sun and Mcdonough<sup>[19]</sup>)  
 (Data of mafic dykes in North Daba Mountain from Zhang Chengli et al. <sup>[10]</sup> and Wang Cunzhi<sup>[11]</sup>; data of mafic volcanic rocks in North Daba Mountain after Dong Yunpeng et al.<sup>[9]</sup>)

基性岩脉(墙)的形成时代为 439~431 Ma。也与前人对这套基性火山岩定年获得的 (431.1±3.03)Ma 年龄在误差范围内一致<sup>[3,6]</sup>。此外,何建坤等<sup>[20]</sup>获得镇坪县茨竹基性侵入体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (447.9±10.6)Ma; 雒昆利等<sup>[18]</sup>依据地层中早志留世中晚期标准笔石化石, 结合地层中含有同一系列的火山熔岩, 将岩体时代限定于早志留世的中、晚期。因此, 笔者认为该地区的基性岩墙(脉)和火山岩应为同期岩浆活动的产物, 形成时代在 448~431 Ma, 属于晚奥陶世—早志留世。

微量元素地球化学特征显示, 镇坪地区基性岩具有板内玄武岩的特征。因此选择能够较好地区分板内、岛弧及洋中脊玄武岩的 Zr-Zr/Y 图解和能很好区分板内碱性玄武岩系列和板内拉斑玄武岩系列的 2Nb-Zr/4-Y 图解对其形成的构造环境进行判断。在 Zr-Zr/Y 图解中(图 6-a), 镇坪地区基性岩样品均落入板内玄武岩区域, 前人研究的北大巴山地区基性岩脉和火山岩的投点绝大多数也落在 WPA 区。在 2Nb-Zr/4-Y 图解中(图 6-b), 样品点均落在 A1+A2 区, 即板内裂谷玄武岩区, 也与前研究的该区基性岩脉和火山岩的投点均落在 A1+A2 区相同。构造环境判别图解 Zr/Y-Zr 和 2Nb-Zr/4-Y 均证实其形成于板内构造环境。

自元古宙以来, 北大巴山经历了构造伸展(ε-D<sub>2</sub>)、构造反转(T<sub>2</sub>)和构造冲断作用(T<sub>2</sub>-J<sub>1</sub>), 构造伸展

作用大约经历了 200 Ma<sup>[20]</sup>。北大巴山地区早古生代地层中发育的基性侵入岩、火山岩及少量的超基性岩具有双模式火成岩特点<sup>[3,5,8,21]</sup>, 岩浆侵位时, 区内地壳处于张裂性质<sup>[2]</sup>。此岩套形成构造背景为扬子地块北缘板内幔源裂谷作用<sup>[9]</sup>, 可能是加里东晚期该地区岩石圈处于拉张状态下大陆裂谷作用的产物<sup>[3]</sup>。由于拉张过程中地幔物质的上涌造成岩石圈板块拉伸减薄, 使北大巴山地区中上地壳发生强烈构造伸展活动, 从而在南秦岭地区发育一系列区域性北西-南东向裂隙, 沿着这些裂隙形成了这条颇具规模的基性岩墙群带<sup>[11]</sup>。此外, 张成立等<sup>[11]</sup>研究表明, 北大巴山地区基性岩墙群的出现与该区早古生代深部地幔柱引起的地壳伸展扩张有关, 由于地幔柱活动短暂, 此次裂谷作用未能继续发展为新的洋盆。在与火山岩互层的沉积岩中获得的丰富牙形石等也证明在寒武—志留纪该区存在裂谷盆地<sup>[25]</sup>, 该盆地在中、晚志留世沉积非补偿砂岩及板岩, 表明该盆地已萎缩和局部闭合<sup>[26]</sup>。张成立等<sup>[11]</sup>对该区早古生代晚期镁铁质岩脉及玄武岩的 Sr-Nd-Pb 同位素研究表明, 发生于扬子北缘新元古代早期的大洋地壳的俯冲消减作用造成南秦岭区亏损软流圈地幔具有多种富集端元混合特征, 是新元古代早期扬子北缘大洋地壳俯冲消减及其携带的陆源沉积物再循环进入亏损软流圈地幔的结果, 并且自新元古代中期(800 Ma 左右)以来一直持续到早古生代末期(433 Ma)无明显改变。

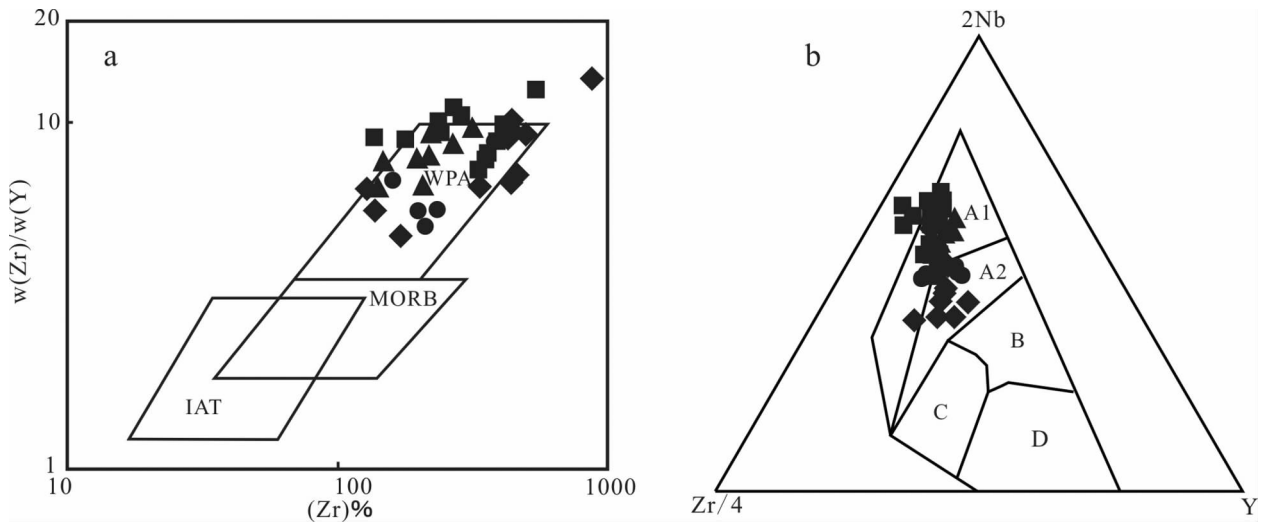


图 6 镇坪中基性岩 Zr -Zr/ Y (a)和 2Nb -Z/14-Y (b)构造环境判别图

(a 据 Pearce et al<sup>[23]</sup>; b 据 Meschede<sup>[24]</sup>)

(● 本文; ▲ 引自董云鹏等<sup>[9]</sup>; ■ 引自张成立等<sup>[10]</sup>; ◆ 引自王存智等<sup>[11]</sup>)

a: WPA-板内玄武岩; MORB-洋中脊玄武岩; IAT-岛弧拉斑玄武岩; b: A1+A2-板内裂谷玄武岩; B-富集型 MORB; A2+C-板内拉斑玄武岩; D-N-MORB

Fig.6 Tectonic environment discrimination diagram Zr -Zr/ Y (a) and 2Nb -Z/14-Y (b) for basic swarms in Zhengping area (a after Pearce et al<sup>[23]</sup>; b after Meschede<sup>[24]</sup>)

(● From the author; ▲ From DongYunpeng et al.<sup>[9]</sup>; ■ From Zhang Chengli et al.<sup>[10]</sup>; ◆ From Wang Cunzhi et al.<sup>[11]</sup>)

a: WPA-Intraplate basalt; MORB-Mid-Ocean Ridge Basalt; IAT-Island Arc Tholeiitic Basalt

b: A1+A2-Intraplate Rift-Basalt; B-Enriched MORB; A2+C-Intraplate basalt

这一特征也暗示秦岭造山带新元古代中期—早古生代末期的深部地幔动力学背景一致, 表现为长期伸展拉张的构造演化背景。本次研究获得的北大巴山镇坪地区辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果为 (439±6) Ma, 与这一演化阶段的末期, 即早古生代末期(433 Ma)相近, 正处于该地区大洋地壳俯冲影响结束后的板内裂谷时期。结合主量元素、微量元素地球化学研究及前人的研究结果, 认为北大巴山地区在早志留世早期处于张裂状态, 该区基性岩和火山岩为岩石圈处于拉张状态下大陆裂谷作用产物。

**致谢:**杨之青、刘建辉等对本次锆石 SHARIMP 测试给予了细心指导, 成文过程得到了武汉地质矿产研究所付建明博士的帮助, 审稿人和编辑对本文提出了宝贵的意见, 在此一并表示感谢!

**参考文献(References):**

[1] 张成立, 高山, 袁洪林, 等. 南秦岭早古生代地幔性质: 来自超镁铁质、镁铁质岩脉及火山岩的 Sr-Nd-Pb 同位素证据[J]. 中国科学(D 辑); 2007, 37(7):857-865.  
Zhang Chengli, Gao Shan, Yuan Honglin, et al. Sr -Nd -Pb

isotopes of the Early Paleozoic mafic-ultramafic dykes and basalts from South Qinling belt and their implications for mantle composition[J]. Science in China (Series D), 2007, 37(7):857-865.  
[2] 黄月华, 杨建业. 北大巴山笔架山-铜洞湾碱性镁铁质熔岩的岩石学研究 [J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所刊, 1990, 28:15-24.  
Huang Yuehua, Yang Jianye. Petrological study for Bijiashan - Tongdongwan alkalimafic lavas from northern DABA mountains[J]. Bulletin of Xian Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, 1990, 28:15-24(in Chinese with English abstract).  
[3] 黄月华, 任有祥, 夏林圻, 等. 北大巴山早古生代双模式火成岩套——以高滩辉绿岩和嵩坪粗面岩为例 [J]. 岩石学报, 1992, 3: 243-256.  
Huang Yuehua, Ren Youxiang, Xia Linqi, et al. Early palaeozoic bimodel igneous suite on northern DABA mountains -Gaotan diabase and Haoping trachyte as examples [J]. Acta Petrologica Sinica, 1992, 3:243-256(in Chinese with English abstract).  
[4] 黄月华. 岚皋碱性镁铁-超镁铁质潜火山杂岩中金三角闪辉石岩类地幔捕虏体矿物学特征[J]. 岩石学报, 1993, 4:367-378.  
Huang Yuehua. Mineralogical characteristics of phlogopite - amphibole -pyroxenite mantle xenoliths included in the alkali mafic-ultramafic subvolcanic complex from Langao county, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1993, 4:367-378 (in Chinese with English



- abstract).
- [5] 夏祖春, 夏林圻, 张诚. 北大巴山碱质基性-超基性潜火山杂岩的辉石矿物研究[J]. 西北地质科学, 1992, 13(2):32-30.  
Xia Zuchun, Xia Linqi, Zhang Cheng. The study of pyroxene minerals of alkali-basic-ultrabasic subvolcanic complex from Northern DABA MTS[J]. Northwest Geoscience, 1992, 13(2):23-30(in Chinese with English abstract).
- [6] 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 等. 北大巴山碱质基性-超基性潜火山杂岩岩石地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1994, 62-75.  
Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, et al. Petro-geochemistry of Alkali Mafic-ultramafic Subvolcanic Complex in Northern Daba Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994, 62-95.
- [7] 邱家骧, 李昌年, 喻学惠, 等. 秦巴碱性岩[M]. 北京:地质出版社, 1993:147-153.  
Qiu Jiaxiang, Li Changnian, Yu Xuehui, et al. The Alkaline Rocks in Qinlin-Bashan Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:147-153(in Chinese).
- [8] 杨建业, 苏小鹏. 陕西岚皋辉石玢岩及其形成的大地构造环境[J]. 中国矿业大学学报, 1994, 23(4):88-95.  
Yang Jianye, Su Xiaopeng. Pyroxene porphyrite bodies and their tectonic environment in Langao county, Shanxi Province[J]. Journal of CUMT Mining Science and Technology, 1994, 23 (4):88-95(in Chinese with English abstract).
- [9] 董云鹏, 周鼎武, 张国伟, 等. 南秦岭造山带南缘早古生代基性火山岩地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地球化学, 1998, 27(5):432-441.  
Dong Yunpeng, Zhou Dingwu, Zhang Guowei, et al. Geochemistry of the Caledonian basic volcanic rocks in the south margin of Qinling orogenic belt and their tectonic implications[J]. Geochimica, 1998, 27 (5):432-441(in Chinese with English abstract).
- [10] 张成立, 高山, 张国伟, 等. 南秦岭早古生代碱性岩墙群的地球化学及其意义[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(10):819-829.  
Zhang Chengli, Gao Shan, Zhang Guowei, et al. Geochemistry of early Paleozoic alkali dyke swarms in south Qinling and its geological significance [J]. Science in China (Series D), 2002, 32 (10):819-829.
- [11] 王存智, 杨坤光, 徐扬, 等. 北大巴基性岩墙群地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其大地构造意义 [J]. 地质科技情报, 2009, 28(3):19-26.  
Wang Cunzhi, Yang Kunguang, Xu Yang, et al. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of basic dike swarms in north DABA mountains and its tectonic significance [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28 (3):19-26 (in Chinese with English abstract).
- [12] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale [J]. J. Geol. Soc., 1992, 149:171-184.
- [13] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.  
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, Jiang Ping. The mounting and the procedure of SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48(Supp.):26-30(in Chinese with English abstract).
- [14] Ludwig K R. ISOPLOT 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft excel [J]. Berkeley Geochronology Centre Special Publication 2003, (4):1-70.
- [15] Crofu F, Hanchar J M, Hoskin P W, et al. Atlas of zircon textures [J]. Review Mineral Geochemistry, 2003, 53:469-495.
- [16] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16):1589-1604.  
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Zircon minerageny and its restriction on interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16):1589-1604(in Chinese).
- [17] LeBas M J. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. Journal of Petrology, 1986, 27:745-750.
- [18] 雒昆利, 端木和顺. 大巴山区古生代基性火成岩的形成时代[J]. 中国区域地质, 2001, 8(3):262-266.  
Luo Kunli, Duan Mu heshun. Timing of early Paleozoic basic igneous rocks in the Daba mountains [J]. Regional Geology of China, 2001, 8(3):262-266(in Chinese with English abstract).
- [19] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process[C] //Saunders A D, Norry M J (eds.). Magmatism in Ocean Basins. Geology Society London Special Publication, 1989, 42:313-345.
- [20] 何建坤, 卢华复, 朱斌. 东秦岭造山带南缘北大巴山构造反转及其动力学[J]. 地质科学, 1999, 34(2):139-153.  
He Jiankun, Lu Huaifu, Zhu Bin. The tectonic inversion and its geodynamic processes in northern Daba mountain south of eastern Qinling orogenic belt [J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(2):139-153(in Chinese with English abstract).
- [21] 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), 1995, (9):994-998.  
Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong, et al. Tectonics and structure of the Qinling orogenic belt [J]. Science in China(Series B), 1995, 19:994-1003(in Chinese).
- [22] 杨森楠, 杨巍然. 中国区域大地构造学 [M]. 北京:地质出版社, 1985.  
Yang Sennan, Yang Weiran. Regional Tectonics of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [23] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[C]//Thorpe R S. Andesite: Orogenic Andesite and Related Rocks. New York: John Wiley, 1982:525-548.
- [24] Meschede M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental thoeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chemical Geology, 1986, 56:207-218.
- [25] 倪世钊, 杨德骊. 东秦岭东段南带古生代地层和沉积相 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1994:1-80.  
Ni Shizhao, Yang Deli. Paleozoic Strata and Sedimentary Facies of the Southern Belt in the Eastern Section of East Qinling Mountains [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994:1-80(in Chinese).

- [26] 杜远生, 殷鸿福, 王治平, 等. 秦岭造山带晚加里东—早海西期的盆地格局和构造演化[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 1997, 22(4):401-405.  
Du Yuansheng, Yin Hongfu, Wang Zhiping, et al. The late

Caledonian -early hercynian basin's framework and tectonic evolution of Qinling orogenic belt [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 1997, 22(4):401-405(in Chinese with English abstract).

## SHRIMP zircon U-Pb dating and lithogeochemical characteristics of diabase from Zhenping area in North Daba Mountain

ZOU Xian-wu, DUAN Qi-fa, TANG Chao-yang,  
CAO Liang, CUI Sen, ZHAO Wu-qiang, XIA Jie, WANG Lei

(Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Wuhan 430223, Hubei, China)

**Abstract:** Mafic dike swarms, trending in NW-SE direction, are widely distributed in North Daba Mountain, intruding the Early Paleozoic strata. Previous studies focused on geochronology and geochemistry of Ziyang-Langao area; nevertheless, very insufficient research work was devoted to Zhenping area. The dating of SHRIMP zircon U-Pb for diabase samples from Zhenping area in North Daba Mountain shows the result that 12 points yield a group of weighted mean  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages at  $(439\pm 6)\text{Ma}$  (MSWD=1.7), consistent with the basic dike and volcanic rocks in the middle-northern area of North Daba Mountain, i.e., Ziyang-Langao area. Geochemical data show that basic dikes have high  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{TiO}_2$ , with bimodal characteristics of rocks. They are enriched in large ion lithophile elements (LILE, e.g., Rb, Ba, Th, U) and light rare earth elements (LREE;  $((\text{La}/\text{Yb})_N=11.18\sim 15.67)$ , and depleted in Sr, Y, Yb and heavy rare earths (HREE), suggesting geochemical characteristics of average mass fraction of continental rift basalt. The petrochemical diagrams of  $\text{Zr}/\text{Y}-\text{Zr}$  and  $\text{Nb}-\text{Zr}-\text{Y}$  also indicate that these rocks are continental rift basalt. Combined with previous studies, the authors hold that North Daba Mountain was a rift during the middle-late stage of Early Silurian, and the basic dikes and volcanic rocks were tensile product under the condition of continental rift.

**Key words:** SHRIMP zircon U-Pb dating; lithogeochemistry; diabase; Zhenping area; North Daba Mountain

---

**About the first author:** ZOU Xian-wu, male, born in 1971, senior engineer, engages in the study of deposit exploration; E-mail: zwx1502@163.com.