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

王存智^{a,b},杨坤光^{b,c},徐 扬^{a,b},程万强^{a,b}

(中国地质大学 a. 研究生院; b. 构造与油气资源教育部重点实验室; c. 地球科学学院, 武汉 430074)

摘 要:北大巴地区广泛分布了呈北西一南东向产出的基性岩墙群,主要侵位于下古生界。对该套岩系的地球化学分析表明, w(K₂O+Na₂O)、w(TiO₂)高,总稀土元素质量分数高并呈轻稀土元素富集型,大离子亲石元素明显富集,Ta、Nb的质量分数远高 于洋中脊玄武岩,具大陆裂谷玄武岩的地球化学特征。采用 LA-ICP-MS 法对北大巴基性岩墙中的岩浆锆石进行了 U-Pb 同位素 定年,获得岩体结晶年龄为(431.0±3.2)Ma。地球化学及年代学数据表明,北大巴基性岩墙群具有大陆裂谷玄武岩的地球化学特 征,表明北大巴早古生代伸展构造受到扬子板块北缘的幔源裂谷作用制约。在裂谷演化过程中,上地幔物质上涌造成岩石圈板块 拉伸减薄,使北大巴地区中上地壳发生强烈构造伸展并形成大面积呈线状分布的基性岩墙群,并且该处(431.0±3.2)Ma 的年龄 值代表了在早志留世北大巴裂谷盆地的伸展裂陷幅度达到最大。

关键词:基性岩墙群;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;大陆裂谷;北大巴

中图分类号:P584 文献标识码:A 文章编号:1000-7849(2009)03-0019-08

基性岩墙主要是由地幔玄武质岩浆沿张性裂隙 贯入形成^[1-2],通常被认为是伸展构造的标志^[3],并 能为上地幔的物质组成提供制约^[4],因此具有明确 的构造演化及时标意义。在南秦岭造山带的北大巴 地区,发育大量呈北西一南东向产出的基性岩墙群, 该套岩系对揭示秦岭造山带早古生代构造演化具有 重要意义。前人^[5+9]已对该构造带基性岩墙群及其 幔源捕虏体的岩石学、矿物学特征开展了大量研究, 但对该区基性岩墙的系统地球化学研究及精确年代 学数据相对较少^[10-11]。因此,笔者拟在野外调查的 基础上,开展详细的岩石学、元素地球化学及同位素 年代学的研究,以确定北大巴基性岩墙群的性质与 年龄,进而探讨北大巴地区基性岩墙所具有的大地 构造意义。

大巴山位于南秦岭造山带与四川盆地的过渡地 区,一般以城口断裂为界分为南大巴和北大巴两个 岩石构造单元^[12],北大巴归属于南秦岭造山带。在 北大巴紫阳、岚皋一带下古生界中出露大量规模不 等的基性岩脉(图 1),脉体宽数米到百余米,长达数 百米到数公里不等,均呈北西一南东向平行于下古



图1 北大巴地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of North Daba Mountains

收稿日期:2008-08-28 编辑:刘江霞 基金项目:中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司项目"南大巴构造特征及构造演化研究"(P02009) 作者简介:王存智(1983—),男,现正攻读构造地质学专业硕士学位,主要从事构造地质学研究。 生界地层走向,构成北大巴基性岩墙群。

1 岩石学特征

1.1 岩相学特征

北大巴基性岩墙群主要由辉绿岩、辉长岩和粗 面岩组成。基性岩脉类具辉绿结构、辉长结构和似 斑状结构,矿物成分(*φ*_B)主要为斜长石(20%~ 60%,An=26~42,更长石-中长石)和单斜辉石 (15%~45%, N_s A c = 18~24°, 斜顽辉石) 以及少量 角闪石。斑晶多为单斜辉石, 少数样品出现绿泥石、 绿帘石等蚀变矿物, 个别见有碳酸盐化现象。粗面 岩类具斑状结构, 斑晶以碱性长石为主, 基质具典型 的粗面结构, 暗色矿物含少量黑云母(<5%), 见少 量磷灰石、榍石等副矿物。

1.2 地球化学特征

1.2.1 主量元素特征

基性岩脉主量元素分析数据列于表1。

表1 北大巴地区基性岩脉主量元素组成

		Table 1	Major eleme	nt data for	· basic dike	swarms in	North Dab	a Mountain	s	$w_{ m \scriptscriptstyle B}/\%$
样品号	067	094	099	109	234	602-3	619-2	616	626	639
岩性	辉绿岩	辉长岩	粗面岩	辉长岩	辉石岩	辉绿岩	辉长岩	辉石岩	辉石岩	粗面岩
SiO ₂	52.48	50.71	55.91	45,07	42.63	45.54	52.90	42.05	41.78	61.02
TiO_2	2.44	2.32	1.70	3.90	2.69	4.21	2.40	5,31	3,87	0.63
Al_2O_3	15.62	15.80	15.38	15.89	12.77	15.06	16.34	12.55	15.09	17.36
Fe2O,	1.44	2.09	5.03	3.51	2,93	2.67	1.40	3.19	4.34	1.17
FeO	5.86	9.38	3.49	9.40	10.31	7.99	7.08	12.13	10.96	4.53
MgO	3.13	2.80	2.07	4.30	11.56	4.46	3.27	5.49	5.31	1.21
CaO	4.71	4.97	2,79	7.34	9.27	7.59	6.01	9.17	11.65	2,96
Na_2O	7.25	5.12	5.06	3.11	2.34	5.02	4.50	3.67	2.58	6.82
K_2O	0.58	1.91	3.67	1.99	0.45	0.68	2.30	0.44	0.50	2.49
MnO	0.28	0,21	0.24	0.19	0,20	0.23	0.26	0.24	0.18	0,10
P_3O_5	0.98	0.84	0.60	0.42	0.33	0.93	0.84	1.82	0.32	0.17
总计	100.26	99.39	99.66	100.19	99.5 2	99.43	100.25	100.16	100.10	100.54
灼失量	4.07	1.75	2.55	3.28	2.68	3,56	1.84	2.48	2.09	1,29

测试单位:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所;分析方法:Fe2O3 用比值法,FeO 用容量法,其他元素用 X 荧光光谱法(XRF)

北大巴地区基性岩脉的 $w(SiO_2) 主要集中在$ 45.07%~52.90%,平均为 49.01%; $w(Al_2O_3)$ 为 12.55%~17.36%,平均为 15.19%; $w(TiO_2)$ 较 高,为 1.70%~5.31%(除样品 639外),平均为 3.0%; $w(Na_2O)$ 为 2.34%~7.25%; $w(K_2O)$ 变化 范围大,可分为两组,一组为低钾基性岩, $w(K_2O)$ 为 0.44%~0.68%,另一组为高钾基性岩, $w(K_2O)$ 为 1.91%~3.67%,相应的 $w(Na_2O)/w(K_2O)$ 比 值也差异明显,高钾岩墙为 1.38~2.73,低钾岩墙 为 5.16~12.50。 $w(Na_2O+K_2O)$ 值为 2.80%~ 9.31%。在 $w(Na_2O+K_2O)-w(SiO_2)$ 图解(图 2) 中,所有样品均落入碱性岩系列,并且多数样品相对 集中分布于中基性岩,少数样品偏超基性岩。

在以w(MgO)为横坐标的 Harker 图解上(图 3),w(MgO)与 $w(TiO_2)$, $w(FeO_1)$ 及w(CaO)呈正 相关,与 $w(SiO_2)$, $w(Al_2O_3)$, $w(Na_2O)$, $w(K_2O)$ 、 w(MnO)和 $w(P_2O_5)$ 呈负相关,表明岩浆分异在演 化过程中起主导作用。

1.2.2 微量元素特征

基性岩脉微量元素分析数据列于表 2。稀土元 素组成表明,岩石稀土元素总量高, $w(\Sigma REE) =$ 137.93×10⁻⁶~523.83×10⁻⁶,平均为 364.85× 10⁻⁶; $w(LREE) = 103.38 \times 10^{-6} \sim 427.12 \times 10^{-6}$,





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; R. 流纹岩

平均为 290.56×10⁻⁶; w(HREE)=34.55×10⁻⁶~ 113.56×10⁻⁶,平均为 74.298×10⁻⁶; w(LREE)/ w(HREE)=2.99~5.69,显示轻重稀土元素分异 明显。[w(La)/w(Sm)]_n=1.91~3.99,为轻稀土



图 3 北大巴地区基性岩墙群的 Harker 图解(底图引自文献[14]) Fig. 3 Harker-type oxides vs. MgO for basic dike swarms in North Daba Mountains

表 2 北大巴地区基性岩脉微量元素组成

 $w_{\rm B}/10^{-6}$ Trace element data for basic dike swarms in North Daba Mountains Table 2 602-3 094 099 234 样品号 067 639 626 619-2 109 616 0.81 3.14 2.06 2.09 0.69 Be 1.79 2.25 0.74 0,96 0.82 6.77 17.30 13.30 Sc 7.40 11.90 26.90 9.49 20.20 22,80 9.40 v 371.00 464.00 294.00 107.00 9.76 289.00 184.00 75.20 580.00 159.00 Cr 0.88 23.20 0.91 0.85 40.50 19.60 2.351.67 1.67 0.93 26,30 8.47 74.10 41.20 34.10 38 50 Со 7.44 12.10 60.40 10.30 221.00 Ni 14.70 0.80 106.00 0.87 9.81 5.18 21 20 0.58 0.30 11.90 33.40 56.40 18.90 23.90 9.07 69 50 Cu 4.44 22.00 237.00 207.00 93.00 120.00 171.00 104.00 137.00 135.00 Zn 157.00 174.00 115.00 17.60 20.70 23.80 27.30 29.50 Ga 24.90 28.00 23.1023.0022.9042.50 9.60 Rb 17.00 77.60 11.10 41.90 63.50 7,58 27.30 43.90 640.00 1 701.00 1 006.00 567.00 2 058,00 734.00 506.00 Sr 901.00 427.00 768.00 Y 51.30 66.40 20.30 52.30 24.80 37.20 43.20 66.80 48.10 20.70 470.00 442.00 133.00 139.00 174.00 445.00 Zr 344 00 492.00 446.00 131.00 105.00 57.90 48.30 21.60 28.70 Nb 98.20 65.30 20.50 67.80 18.50 3.21 1.73 1.29 Sn 2.59 2.02 1.50 1.78 1.45 1.64 2,93 1.91 3.14 4.12 3.61 1.40 Cs1.32 17.20 0.55 0.49 1.59 1 209.00 839.00 304.00 Ba 722.00 2 177.00 367.00 7 868.00 1 212.00 1 509.00 5 324.00 72.40 62.30 21.70 79.30 25.30 46.30 99.10 19.90 La 79.20 80,80 130.00 48.70 163.00 110.00 199.00 Ce 174.00 179.00 45.00 179.00 57,30 6.13 5.55 23.10 7.25 15.10 22.50 20.70 15.60 Pr 22.30 23.30 100.00 25.20 98.80 32.90 71.90 86.20 88.70 63.60 27.00Nd 92.10 15.20 15.60 18.90 13.00 6.04 5.75 19.00 7.12 Sm 18.20 20,90 4.72 5.37 5.37 2,00 7.11 5,46 Eu 5.76 6.27 1.98 2.57 5.35 16.40 10.90 17.30 5.11 15.10 6.19 12.50 12.10 Gd 14.30 1.62 1.68 2.38 1.64 0.77 ΤЬ 2.012.480.75 2.04 0.92 4.93 8.15 8.74 12.90 9.17 4.19 3.98 10.60 10.40 13.10 Dv 0.72 2.29 1.67 0.721.50 1 82 0.87 1.35 Ho 1.85 2.31 1.92 3.97 4.69 Er 4.95 6.10 1.85 4.69 2.30 3.22 6.13 0.62 0.240.29 0.38 0.50 0.79 Τm 0.64 0.77 0.24 0.58 3.01 1.74 4.71 3.92 1.47 3.39 2.17Yb 3.744.47 1.40 0.20 0.20 0.46 0.250.29 0.42 0.67 0.54 Lu 0.53 0.63 10.30 3.20 9.43 11.10 Ηf 11,20 10.20 3.30 7.92 3.49 4.41 1.33 2.85 3.79 1.26 4.29 1.13 1.76 5.96 3.36 Та 6.00 Tl 0.091 0.320 0.052 0.170 0.240 0.050 0.063 0.230 0.120 0.071 3.08 2.07 2.09 Рb 4.00 6.47 3.73 4.07 13.30 5.375.51 1.85 11.70 6.83 7.27 5.37 2.66 Τh 8.76 6.36 1.83 2.41 1.84 2.731.71 0.47 U 0.45 1.40 0.570.65 2.471.47

测试单位:中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室;测试方法:电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS),以 BCR-2, RHVO-2, AGV-2, G-2和 GSR-6 作标样

元素强烈富集型;有微弱的正铕异常,δ(Eu)=0.92 ~1.34,平均为1.10。在球粒陨石标准化配分图 (图4)上,岩石显示出右倾负斜率轻稀土元素中强 富集型分布模式,这种稀土元素分布模式多见于大 陆板内拉斑玄武岩中^[10]。



Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for basic dike swarms in North Daba Mountains

在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 5) 上,基性岩墙群岩石样品的不相容元素分布的大致 趋势是相同的,均表现为富集大离子亲石元素 (LILE)(Ba、Th、U等)和高场强元素(HFSE)(Nb、 Ta等),而Yb、Sr以及K、U、Th等生热元素相对亏 损,明显不同于洋中脊玄武岩(MORB)的分布特点, Nb、Ta的富集特点显示与岛弧玄武岩(IAB)的差 别,总体上具有板内玄武岩微量元素的一般特 点^[15]。部分样品K具明显的负异常,K的亏损可能 是低程度部分熔融产物的特点,暗示地幔源区可能 有残余的富钾角闪石和金云母。所有基性岩类均呈 现明显的Nb正异常,说明它们基本未受到大陆地



Fig. 5 Spider diagram of trace elements for basic dike swarms in North Daba Mountains

壳混染作用的影响。岩石均不存在明显 Eu 负异 常,说明并未发生以斜长石为主的分离结晶作用。

2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

为精确测定北大巴基性岩墙群的形成时代,采用 LA-ICP-MS 法对岩体中的岩浆锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测试。

2.1 测试方法

采集质量大于 10 kg 的岩石样品采用常规方法 进行粉碎,用浮洗和电磁洗方法进行分洗,在6件样 品中获得多颗锆石后,再在双目镜下挑选出晶形和 透明度相对较好的锆石颗粒,将其粘在双面胶上,然 后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固 化后,对其表面进行抛光至锆石中心面暴露,然后进 行锆石显微(反射光和投射光)照相、阴极发光(CL) 显微图像研究及 LA-ICP-MS 分析。锆石的阴极发 光(CL)显微照相在中国地质大学(武汉)地质过程 与矿产国家重点实验室 Gatan 3.0 阴极发光器和 JXA-8100 电子探针器上联合完成; 锆石原位 U-Pb 同位素年龄分析在激光剥蚀电感耦合等离子体质谱 仪(LA-ICP-MS)上完成。激光剥蚀系统是配备有 193 nm ArF-excimer 激光器的 Geolas 200 M,激光 剥蚀斑束直径为 32 um,剥蚀深度为 20~40 um。 实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,国际标准锆 石 91500 作为外标,元素含量采用 NIST SRM610 作为外标,²⁹Si 作为内标元素进行校正。样品的同 位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(4.0 版, Macquarie University)软件,并采用 Andersen^[16]软件对测试数据进行普通铅校正,锆石年龄的 计算及谐和图的绘制采用 Isoplot(ver3.0)^[17]完成。 详细的实验原理和流程及仪器参数见文献[18-20]。 2.2 测试结果

从测年样品中选取的锆石为浅黄色-无色透明 短柱状、半截锥状、等粒状和不规则状晶体,自形程 度较好,粒度多为 100~200 μm。由于锆石封闭温 度高,低级区域变质作用不会丢失锆石中的源区信 息,因此用其来进行定年是可靠的。大多数锆石的 阴极发光图像表现为具有较好的条带结构,部分具 有岩浆韵律环带(图 6),属于岩浆结晶产物。共有 效分析测试了 25 个点,锆石 U-Pb 数据见表 3。

所有 25 个测点的 $N(^{206} Pb)/N(^{238} U) - N(^{207} Pb)/N(^{235} U)$ 谐和年龄图见图 7,测点构成非 常集中的主锆石群,其 $N(^{206} Pb)/N(^{238} U)$ 和 $N(^{207} Pb)/N(^{235} U)$ 谐和性很好。所有数据点和年龄 龄值的误差均为 1σ ,采用 $t(^{206} Pb/^{238} U)$ 年龄,其加 权平均值具 95%的置信度,加权平均年龄为(431.0

溌

ω

表 3 北大巴地区基性岩墙群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Table 3 Result of zircons LA-ICP-MS U-Pb dating for basic dike swarms in North Daba Mountains

测试点号	²³² Th	$^{238}\mathrm{U}$	τι ⁽²³² Th),	N(²⁰⁷ Pb)/ / N(²⁰⁶ Pb)	1σ	N(²⁰⁷ Рb)/ N(²³⁵ U)	1σ	N(²⁰⁶ Pb)/ N(²³⁸ U)	1σ	$N(^{208}{ m Pb})/N(^{232}{ m Th})$	lσ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Ph	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ РЬ/ ²³⁸ U	lσ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ
	$\frac{w_{\rm B}/(\mu {\rm g} \cdot {\rm g}^{-1})}{w_{\rm B}/(\mu {\rm g} \cdot {\rm g}^{-1})}$			U-Ph-Pb 同位素比值					表面年龄 t/Ma										
602-3-1	1 878.68	1 038.77	0.55	0.061 64	0.001 23	0.583 95	0.011 38	0.068 70	0.000 71	0.021 68	0.000 32	662	24	467	7	428	4	434	6
602-3-2	1 772.28	646.46	0.36	0.063 98	0.001 24	0.615 46	0.011 67	0.069 76	0.00072	0.021 91	0.000 33	741	23	487	7	435	4	438	7
602-3-3	505.78	315.18	0.62	0.055 58	0.004 10	0.524 05	0.038 14	0.068 39	0.000 86	0.021 31	0.000 18	436	169	428	25	426	5	426	4
619-2-1	1 399.49	638.59	0.46	0.056 14	0.000 97	0.535 19	0.008 95	0.069 13	0.000 69	0.023 82	0.000 33	458	20	435	6	431	4	476	7
099-2	964.21	853.61	0.89	0,056 40	0.000 88	0.525 48	0.007 81	0.067 57	0.000 65	0.021 13	0.000 25	468	17	429	5	421	4	423	5
099-4	2 109.79	1 275.99	0.60	0.057 30	0.000 87	0.553 84	0.007 97	0.070 11	0.000 67	0.022 06	0.000 26	503	16	448	5	437	4	441	5
099-5	702,80	673.58	0.96	0.058 20	0.000 96	0.538 51	0.008 49	0.067 10	0.000 65	0.021 56	0.000 26	537	18	437	6	419	4	431	5
109-1	1 809,08	924.61	0.51	0.056 22	0.000 89	0.520 24	0.007 87	0.067 11	0,000 65	0.021 51	0.000 26	461	17	425	5	419	4	430	5
109-2-1	1 721.75	1 042.61	0.61	0.055 72	0.000 85	0,543 48	0.007 89	0.070 74	0.000 68	0.022 44	0.000 28	441	16	441	5	441	4	449	6
109-2-2	1 308.96	793.66	0.61	0.056 69	0.000 89	0,540 59	0.008 06	0.069 16	0.000 67	0.021 93	0.000 27	479	17	439	5	431	4	438	5
109-3	1 660.18	922.06	0,56	0.055 94	0.003 53	0.513 48	0.031 83	0.066 58	0.00078	0.02073	0.000 16	450	144	421	21	416	5	415	3
109-4	3 229.22	1 596.83	0.49	0.059 99	0.000 93	0.578 61	0.008 60	0.069 95	0.000 68	0.021 78	0.000 27	603	16	464	6	436	4	435	5
626-1-1	491.63	446.17	0.91	0.062 54	0.001 06	0.630 61	0.010 26	0.073 12	0.000 72	0.024 17	0.000 32	693	19	496	6	455	4	483	6
626-1-2	6 833.76	2 904.12	0.42	0.056 48	0,000 88	0.544 77	0.008 13	0.069 95	0.000 68	0.021 39	0,000 28	471	17	442	5	436	4	428	6
626-2	1 268,90	553.40	0.44	0.054 53	0.000 94	0.531 22	0.008 79	0.070 64	0.000 70	0.022 02	0.000 29	393	20	433	6	440	4	440	6
626-3-1	1 516.00	977.47	0.64	0.055 04	0.000 92	0.547 04	0,008 78	0.072 07	0.000 71	0.023 04	0,000 31	414	19	443	6	449	4	460	6
626-3-2	1 077.75	765.73	0.71	0.057 94	0.000 97	0.585 18	0.009 48	0.073 25	0.000 73	0.02373	0.000 32	527	19	468	6	456	4	474	6
234-1	1 837.75	1 085.42	0.59	0.058 57	0.000 82	0.559 33	0.007 31	0.069 28	0.000 65	0.022 67	0.000 25	551	14	451	5	432	4	453	5
234-2	322.69	261.14	0.81	0,056 65	0.000 94	0.547 47	0.008 59	0.070 1	0.000 67	0.022 27	0.000 26	478	19	443	6	437	4	445	5
234-3	706.83	438.61	0.62	0.055 69	0.000 87	0.527 34	0.007 77	0.068 69	0.000 65	0.021 41	0.000 24	440	17	430	5	428	4	428	5
234-4	1 673.75	750.09	0.45	0.070 9	0.001 09	0.665 09	0.009 58	0.068 04	0.000 65	0.022 58	0.000 25	955	15	518	6	424	4	451	5
234-5	3 092.38	1 082.89	0.35	0.056 34	0.000 82	0.544 62	0.007 41	0.070 11	0.000 66	0.022 21	0.000 25	466	15	441	5	437	4	444	5
234-6	1 355.02	810.84	0.60	0.055 36	0.000 82	0.528 66	0.007 32	0.069 27	0.000 65	0.021 87	0.000 25	427	15	431	5	432	4	437	5
234-7	2 556. 50	905.94	0.35	0.056 66	0.000 83	0.537 32	0.007 41	0.068 79	0.000 65	0.02172	0.000 24	478	15	437	5	429	4	434	5
234-8	1 440.62	945.34	0.66	0.055 34	0.000 83	0.528 21	0.007 47	0.069 23	0.000 66	0.021 56	0,000 25	426	16	431	5	432	4	431	5
234-9	303.36	232.52	0.77	0.057 96	0.002 84	0.549 17	0.026 20	0.068 72	0,000 76	0.021 31	0,000 17	528	110	444	17	428	5	426	3
234-11	824.30	486.51	0.59	0.054 90	0,003 20	0.508 92	0.029 08	0.067 24	0.000 77	0.020 98	0.00016	408	134	418	20	419	5	420	3

测试单位:中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室;测试方法:U-Pb 同位素年龄分析在 LA-ICP-MS 上完成

豪义



图 6 北大巴基性岩墙群锆石阴极发光(CL)图像 Fig. 6 CL images of the zircons for basic dike swarms in North Daba Mountains 圈和数字分别表示 U-Pb 年龄测定位置和 t(²⁰⁶ Pb/²³⁸ U)表面年龄(Ma)



图 7 北大巴基性岩墙群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图 Fig. 7 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram for basic dike swarms in North Daba Mountains

±3.2) Ma(加权偏差方差 *MSWD*=3.6,误差为 2σ),代表了北大巴基性岩墙群的主体结晶年龄,属 于志留纪 Llandovery 世 Telychian 期。该年龄与与 前人^[8,21]所获得的(431.10±3.03) Ma 结果吻合较好。

3 构造环境及大地构造意义

从地球化学特征来看,北大巴基性岩墙群主量 元素显示 w(K₂O+Na₂O),w(TiO₂)高,与大陆裂 谷玄武岩的平均质量分数相似。在稀土元素分配模 式上,总稀土元素质量分数很高,且明显呈轻稀土元 素富集型。在微量元素质量分数中,不相容的大离 子亲石元素和高场强元素富集明显,具有板内玄武 岩微量元素的一般特点。上述特征均表明,这套岩 石的成因与地幔活动造成大陆裂谷作用有关。

适用于不同构造环境玄武岩的 w(Zr)/w(Y)w(Zr)图解(图 8)能很好地区分板内、岛弧及洋中脊 玄武岩,特别是板内玄武岩在这些图上有独立的区 域,很少与其他类型玄武岩重叠^[23]。北大巴基性岩 墙群在上述图解中均落入板内玄武岩区。另外,2× w(Nb)-w(Zr)/4-w(Y)图解(图 9)能很好地区 分板内碱性玄武岩系列和板内拉斑玄武岩系列,在



- 图 8 北大巴地区基性岩墙群形成的构造环境 w(Zr)/ w(Y)-w(Zr)相关图(底图引自文献[22])
- Fig. 8 Tectonic environments discrimination Zr/Y-Zr diagram for basic dike swarms in North Daba Mountains

WPB. 板内玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩; IAB. 岛弧玄武岩

此图中该区基性岩墙群均落入板内碱性玄武岩区。



图 9 北大巴地区基性岩墙群的 2×w(Nb)-w(Zr)/4-w(Y) 构造环境判别图解(底图引自文献[24])

Fig. 9 Tectonic environments discrimination 2Nb-Zr/4-Y diagram for basic dike swarms in North Daba Mountains AI、AII.板内碱性玄武岩;AII、C.板内拉斑玄武岩;B. P-MORB

P型洋中脊玄武岩;D. N-MORB;C、D. 火山弧玄武岩

大陆裂谷是大陆内部的拉张地带,与地幔软流 圈的隆升有关。裂谷作用形成的典型岩石组合为拉 斑玄武岩及碱性玄武岩系列组成的双峰火山岩,裂 谷早期阶段一般发育以碱性玄武岩为主的岩石组 合;随着裂谷的发展,软流圈进一步发展,当大陆破 裂最终被拉开有新洋壳形成时,可形成大量拉斑玄 武岩。北大巴地区以碱性岩为主,表明北大巴地区 这一基性岩墙群代表了大陆裂谷发育早期阶段幔源 岩浆活动的产物。

北大巴基性岩墙群测得的锆石 U-Pb 年龄为 (431.0±3.2)Ma,而南秦岭在早古生代时为扬子板 块北缘的被动大陆边缘[25]。从晚震旦世开始,在总 体伸展构造背景下,秦岭地区产生裂陷,包括南秦岭 在内的扬子板块北缘演化成古商丹洋南侧的被动大 陆边缘。O2-S时期,秦岭地区的演化转入扬子板 块向北向华北板块的汇聚俯冲期[26],但包括南秦岭 在内的扬子板块北缘仍保持被动大陆边缘扩展裂 陷,其伸展构造活动受扬子板块北缘幔源裂谷作用 的影响。由于裂谷过程中上地幔物质的上涌造成岩 石圈板块拉伸减薄,使北大巴地区中上地壳发生强 烈构造伸展活动,从而在当时隶属于扬子地块北缘 的南秦岭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。而且已有研究[11,27-28]也证明了中志留世之前的 早古生代该区深部存在与地幔柱活动有关的岩浆作 用,导致了早古生代的伸展活动。并且,在与火山岩 互层的沉积岩中获得的丰富牙形石等化石证明在寒 武-志留纪该区存在裂谷盆地^[29]。该盆地自中、晚 寒武世开始形成,在中、晚志留世沉积非补偿砂岩及 板岩,代表了盆地的萎缩和局部闭合^[30]。所以,该 处(431.0±3.2)Ma的年龄值代表了在早志留世北 大巴山裂谷盆地伸展裂陷幅度达到最大,但由于深 部持续作用和热量供给不足,使其与地幔柱相关的 扩张活动相对短暂,未能在北大巴地区扩张打开形 成新的洋盆^[11],直到晚古生代初期,因古特提斯的 伸展扩张以及深部地球动力学作用,才进一步扩张 形成勉略洋盆^[31],并最终使秦岭微板块从扬子板块 北缘分裂出来形成独立的微板块。

4 结 论

(1)北大巴基性岩墙群的主量、微量和稀土元素 特征表明,该地区的基性岩墙群具有大陆裂谷玄武 岩类特征。对主量元素和微量元素构造环境判别图 解的分析表明,北大巴基性岩墙群代表了大陆裂谷 环境。北大巴地区以碱性岩为主,表明北大巴地区 这一基性岩墙群代表了大陆裂谷发育早期阶段岩浆 活动的产物,没有经历地壳混染。

(2)北大巴基性岩墙群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(431.0±3.2)Ma,代表了北大巴基性岩墙群 主体的结晶年龄,表明北大巴发生在早古生代的伸 展构造活动受扬子板块北缘的古大陆边缘幔源裂谷 作用的制约。并且,该处(431.0±3.2)Ma 的年龄 值代表了在早志留世北大巴裂谷盆地伸展裂陷幅度 达到最大。

参考文献:

- [1] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1985: 185-189.
- [2] 路凤香,桑隆康,邬金华,等.岩石学[M].北京:地质出版社, 2002:71-81,
- [3] 李江海,何文渊,钱祥麟,等.元古代基性岩墙群的成因机制,构 造背景及其古板块再造意义[J].高校地质学报,1997,3(3): 272-281.
- [4] 葛小月,李献华,周汉文,等. 琼南晚白垩世基性岩墙群的年代
 学、元素地球化学和 Sr-Nd 同位素研究[J]. 地球化学,2003,32
 (1):12-20.
- [5] 黄月华,杨建业.北大巴山笔架山一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所刊, 1990.28:15-24.
- [6] 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.
- [7] 黄月华、岚皋碱性镁铁一超镁铁质潜火山杂岩中金云角闪辉石
 岩类地幔捕虏体矿物学特征[J],岩石学报,1993,9(4):367-378.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 董云鹏,周鼎武,张国伟,等.秦岭造山带南缘早古生代基性火

- [11] 张成立,高山,张国伟,等.南秦岭早古生代碱性岩墙群的地球 化学及其地质意义[J].中国科学:D辑,2002,32(10):819-828.
- [12] 何建坤,卢华复,张庆龙,等.南大巴山冲断构造及其剪切挤压 动力学机制[J].高校地质学报,1997,3(4):419-428.
- [13] LeBas M J. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. J. Petrol., 1986, 27:745-750.
- [14] 李昌年.火成岩微量元素岩石学[M].武汉:中国地质大学出版 社,1992:57-65.
- [15] 鄢全树,石学法,王昆山,等.南海新生代碱性玄武岩主量、微量 元素及 Sr-Nd-Pb 同位素研究[J]. 中国科学:D 辑,2008,38 (1):56-71.
- [16] Anderson T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. Chemical Geology, 2002, 192:59-79.
- [17] Ludwig K R. Isoplot-A plotting and regression program for radiogenic-isotope data[J]. US Geological Survey Open-File Report, 1991, 39:91-445.
- [18] 钟玉芳,马昌前,佘振兵,等. 锆石地球化学特征及地质应用研 究综述[J]. 地质科技情报,2006,25(1):27-34.
- [19] 袁洪林,吴福,高山,等.东北地区新生代侵入体的锆石激光探
 针 U-Pb年龄测定与稀土元素成分分析[J].科学通报,2003, 48(14):1511-1520.
- [20] Gao S, Liu X M, Yuan H L. Determination of forty two major and trace element in USGS and NIST SRM glasses by laser ablation inducitely coupled plasma-mass spectrometry [J]. Geostandards Newsletter, 2002, 26(2):181-195.
- [21] 黄月华,任有祥,夏林圻,等.北大巴山古生代双模式火成岩

套——以高滩辉绿岩和离坪粗面岩为例[J]. 岩石学报,1992,8 (3):243-256.

- [22] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries [M] // Thorpe R S. Andesite: Orogenic andesite and related rocks. New York: John Wiley, 1982;525-548.
- [23] 夏林圻,夏祖春,徐学义,等.利用地球化学方法判别大陆玄武 岩和岛弧玄武岩[J].岩石矿物学杂志,2007,26(1):77-89.
- [24] Meschede M. A method of discriminating between different type of mid-ocean ridge basalts and Continental thoeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chemical Geology, 1986, 56; 207-218.
- [25] 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):101-114.
- [26] 张国伟,孟庆任,于在平,等.秦岭造山带过程及其动力学特征 [J].中国科学:D辑,1996,26(3):193-200.
- [27] 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.
- [28] 张本仁. 秦岭地幔柱源岩浆活动及其动力学意义[J]. 地学前 缘,2001,8(3):57-66.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 曾广策,赖旭龙,杨逢清,等.四川九寨沟隆康、漳扎火山岩研 究[J].地质科技情报,2002,21(3):7-12.

Geochemistry and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age of Basic Dike Swarms in North Daba Mountains and Its Tectonic Significance

WANG Cun-zhi^{a,b}, YANG Kun-guang^{b,c}, XU Yang^{a,b}, CHENG Wan-qiang^{a,b}

(a. Graduate School; b. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resource of Ministry of Education;
 c. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Basic dike swarms are widely distributed NW-SE, intruding the Early Paleozoic strata in North Daba Mountains. The geochemistry analysis show that this rock series share similar characteristics of the average mass fraction of continental rift basalt. It is sound that $K_2O + Na_2O$ is concentrated in the major elements with high TiO₂ and rare-earth content. Also the general high rare-earth content is associated with high concentration of light rare-earth and the incompatible large-ion lithophile elements, while the content of Ta and Nb is much higher than MORB. The basic dike swarms crystalline dated (431. 0 ± 3 . 2) Ma by the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating. These geochemistry characters and dating above indicate that the basic dike swarms in the study area show the characters of the continental rift basalt. This helps to infer that the extensional tectonics developed constrainedly in the Early Paleozoic by the mantle-source rifting that happened at the boundary of paleocontinent on the northern margin of Yangtze Plate. In the process of rifting, material in the upper mantle uplifts resulted in the extension and thinning of lithospheric plate, generating intense extensional tectonics developed in the middle-upper crust of Daba area and then producing the large group of linear basic dike swarms. The age of $(431\pm3, 2)$ Ma represents the extension of this rift to its peak in Early Silurian.

Key words: basic dike swarm; LA-ICP-MS zircon U-Pb age; continental rift; North Daba Mountains