

· 专题研究 ·

秦岭—祁连造山带接合部位基性岩墙的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

陈隽璐^{1,2}, 何世平², 王洪亮^{2,3}, 徐学义¹, 曾佐勋¹, 王宗起⁴, 闫全人⁴

(1. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054;
3. 西北大学, 陕西 西安 710069; 4. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘要: 基性岩墙群代表了陆壳伸展裂解事件, 可为大陆再造及造山作用过程的动力学研究提供时间约束。本文利用 LA-ICPMS 方法对秦祁造山带接合部位陇山岩群中首次报道的基性岩墙群进行了锆石 U-Pb 同位素测年, 获得 440 Ma 左右的年龄。结合区域资料, 认为在中央造山带中段可能普遍存在 440 Ma 左右的一期伸展裂解事件。这一信息对中央造山带的构造演化及成矿地质背景研究具有重要地质意义。

关键词: 秦岭—祁连造山带结合部位; 基性岩墙群; 早古生代; LA-ICPMS

中图分类号: P588.12⁺4; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)06-0455-08

Zircon LA-ICPMS U-Pb age of mafic dykes in the area between the Qinling and the Qilian orogenic belts and its geological implications

CHEN Jun-lu^{1,2}, HE Shi-ping², WANG Hong-liang^{2,3}, XU Xue-yi¹, ZENG Zuo-xun¹, WANG Zong-qi⁴
and YAN Quan-ren⁴

(1. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China; 3. Northwest University, Xi'an 710069, China; 4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Mafic dykes represent a possible event of crustal break-off and can constrain the time of land-rebuilding and dynamics in this area. The authors found some unreported mafic dykes in the Qinling and Longshan Groups between the Qinling and the Qilian orogenic belts. A 440 Ma U-Pb age was measured for these dykes using zircon LA-ICPMS, which indicates that a regional extension might have occurred in the Qinling and the Qilian orogenic belts. The data is very important in the study of the evolution and mineralization of the Qinling and the Qilian orogenic belts.

Key Words: the area between the Qinling and the Qilian orogenic belts; mafic dyke swarm; the Early Paleozoic; LA-ICPMS

基性岩墙群代表地质历史时期的伸展裂解事件, 其形成时代可以代表裂解的初始时限, 可为造山前期的地质作用过程提供研究基础。其变质变形又

包含有造山过程区域构造作用叠加、改造的信息, 为造山过程的动力学研究提供了约束 (Windley, 1984; 周鼎武等, 1995, 1997), 因而在大陆再造研究过程

收稿日期: 2006-01-10; 修订日期: 2006-04-18

基金项目: 中国地质调查局西北地区重要成矿带基础地质综合研究项目 (1212010510416); 秦岭造山带结构与造山作用过程 (200313000057)

作者简介: 陈隽璐 (1964 -) 男, 博士研究生, 构造地质学专业, 高级工程师, 主要从事区域地质调查研究工作, E-mail: zhjl719@sohu.com。

中,越来越受到重视。据统计,全球各大陆基性岩墙群大致发育在 29、25、20、12、8、1 亿年的不同地质时期(Windley, 1984; 周鼎武等, 1998)。中央造山带的东秦岭武当地块有 8 亿年的基性岩墙,南秦岭紫阳-岚皋地区发育早古生代基性岩墙(黄月华等, 1992; 夏林圻等, 1994; 徐学义等, 2001)。最近,孙延贵等(2004)在秦昆接合部位苦海-赛什塘地区对辉绿岩墙群进行了⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年,分别获得了 393.5 Ma 和 197.5 Ma 两组年龄。然而,对分布于中央造山带内部秦岭-祁连造山带结合部位的基性岩墙群却未见详细研究报道。

作者在 1:25 万宝鸡市幅区域地质调查过程中,分别从北秦岭造山带与祁连造山带结合部位的太白、陇山地区出露的秦岭岩群、陇山岩群中,发现并解体出基性岩墙群,并对陇山地区的基性岩体(墙)进行了单颗粒锆石 U-Pb 高精度测年工作,初步认为其可能

形成于早古生代,代表加里东期的裂解伸展事件^①。

1 地质概况

陇山地区位于北秦岭造山带与祁连造山带接合部位,属北祁连造山带东部,其东部边界以虢镇-固关断裂与鄂尔多斯盆地接触,南部以拓石-香泉断裂与北秦岭造山带相邻,出露古元古代结晶基底陇山岩群、早古生代火山变质地层葫芦河岩群、陈家河群,并被大量关山酸性杂岩体侵位。基性岩墙群主要侵入于古元古代结晶基底陇山岩群中。

陇山地区出露的基性岩墙群,一般呈北西向近平行展布,规模小,宽 1 米至数十米,延伸几百米至几公里,个别达十几公里(图 1)。脉体边部一般有 1 cm 左右的细粒边,由边部向中部粒度逐渐变粗,岩

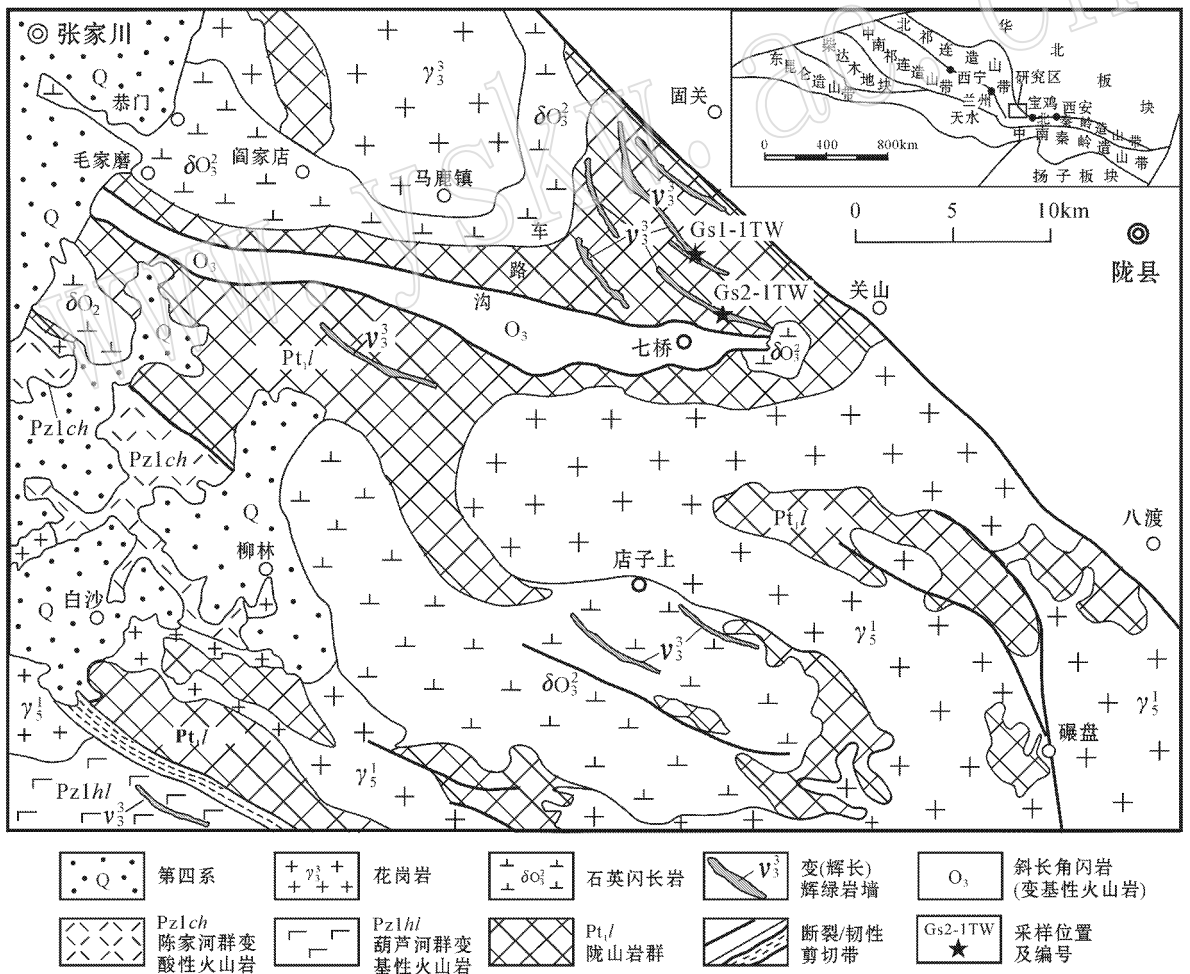


图 1 基性岩墙地质图

Fig. 1 Geologic map of mafic dykes in Qilian - Qinling area

① 1:25 万宝鸡市幅区域地质报告, 2003(内部).

性为绿色斜长角闪岩、辉长岩等。

本次选择出露于陇县铁佛寺乡扫帚滩(GS2-1TW 样品)、关山沟(GS1-1TW 样品)两条北西向近于平行展布的基性岩墙,进行了同位素定年研究。

GS2-1TW 样品取自陇县-关山牧场公路 16 km 处陇县铁佛寺乡扫帚滩, GPS 坐标 E106°41'15.7", N34°50'52.8", 采样点露头连续、岩性新鲜。所选脉体出露宽 50 m, 长近 10 km, 北西向展布, 侵入于陇山岩群砂线二云石英片岩中, 侵入关系明显。脉体由中部的中粗粒辉长岩逐渐变为边部细粒斜长角闪岩, 脉岩发生变质。选取脉体中部的的新鲜中粗粒辉长岩作为定年样品。所采辉长岩呈残留辉长结构, 斜长石为半自形粒状, 普遍轻度帘石化, 含量 40%; 角闪石为半自形-自形晶, 可见角闪石交代辉石现象, 含量 45%, 辉石为自形-半自形, 一般晶体残缺不全, 见碳酸盐化、帘石化现象, 多已蚀变为角闪石, 含量 10%。

GS1-1TW 样品取自陇县关山沟, GPS 坐标为 E106°35'54.3", N34°51'44.7", 采样点露头连续。所采脉体出露宽 20 余 m, 延伸 10 余 km, 脉体宏观呈块状, 弱片理化, 与围岩陇山岩群二云石英片岩、斜长角闪片岩沿走向可见侵入关系。岩性为细粒斜长角闪岩, 主要矿物角闪石呈自形-半自形晶, 含量 58%, 斜长石呈他形-半自形, 充填于角闪石之中, 含量 35%, 石英细小, 含量小于 5%。岩石原岩为辉绿岩类。

2 分析方法

在野外采集 40 kg 样品, 经人工破碎至 80 目, 按常规方法分选锆石, 在双目镜下挑选出无包裹体、无裂纹、透明度好的单颗粒锆石, 然后将样品锆石置于环氧树脂中, 待固结后抛磨至锆石粒径的大约 1/2, 使锆石内部充分暴露, 最后进行锆石的光学、CL 显微图像及激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICPMS, 下同)分析。

锆石阴极发光(CL)图像分析在北京大学信息科学技术学院扫描电镜实验室完成。LA-ICPMS 锆石微区原位单点定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行测定, 在 Agilent7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF, 波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas 200 M 光学系统的联机上进行。激光束

斑直径为 30 μm , 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气, 用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化, 采样方式为单点剥蚀, 数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式, 每完成 4~5 个测点的样品测定, 加测标样一次。在所测锆石样品分析 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质, 元素含量采用 NIST SRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献(Horn, 2000; Ballard *et al.*, 2001; Kosler *et al.*, 2002; 袁洪林等, 2003)。采用 glitter(ver4.0, Macquarie University)程序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算, 并按照 Andersen Tom 的方法(Andersen, 2002), 用 LAM-ICPMS Common Lead Correction(ver3.15)对其进行了普通铅校正, 年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3.0)完成, 分析数据列于表 1。

3 分析结果及分析

3.1 锆石 CL 图像特征(图 2)

Gs2-1TW 样品中单颗粒锆石呈无色透明, 板柱状晶型, 可见柱体两侧呈双锥状, 多为次棱角状-次圆状, 锆石颗粒较大, 一般锆石晶体长轴 111~288 μm , 个别可达 333.3 μm , 长/宽一般介于 1.6~3.1 之间, 震荡环带较清晰, 为岩浆锆石。

Gs11-TW 样品中锆石为无色透明柱状, 边部有蚀交代现象而呈次圆状, 单颗长轴 111~288 μm , 长/宽为 1.67~3.25, 可见震荡环带, 为岩浆成因, 但后期变质明显。微区选择锆石中部环带明显区域进行激光打点。

3.2 测年结果分析

表 1 中可见, 所选锆石 Th/U 均大于 0.8, 说明锆石为岩浆成因, 与 CL 图像分析结果一致。

Gs2-1TW 样品分析结果显示, 各测点 ^{204}Pb 含量一般小于 1.5×10^{-6} , ^{206}Pb 含量多数介于 $500 \times 10^{-6} \sim 1.488 \times 10^{-6}$, 说明普通铅对其影响不大; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 355$, 个别可到 1 139, 说明测量数据可靠。在谐和曲线图(图 3)上, 各点集中分布形成浓集中心, 其加权平均年龄为 $442.8 \pm 1.1 \text{ Ma}$ (13 个点), MSWD=1.13, 误差小, 置信度为 95%, 且加权平均年龄与各点分析的表面年龄一致, 代表岩浆形成年龄。

表 1 基性岩墙单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果表
Table 1 U-Pb isotopic dating results of single-grained zircon from mafic dykes

测点	比值										年龄/Ma						Th/U						
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$		$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$								
	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ							
Gs2-1TW.1	0.05686	0.00063	0.55318	0.0034	0.07071	0.00032	0.02382	0.00010	486	6	447	2	440	2	476	2	<1.45	515.1	31.79	66	1330.9	1585.6	0.85
Gs2-1TW.2	0.05706	0.00066	0.55588	0.0039	0.07080	0.00032	0.02043	0.00008	494	8	449	3	441	2	409	2	<1.42	1618.4	99.58	288	6166.5	4205.6	1.47
Gs2-1TW.4	0.05758	0.00095	0.56323	0.0076	0.07106	0.00039	0.02296	0.00018	514	20	454	5	443	2	459	4	<1.45	64.4	4.24	7.8	166.19	198.4	0.84
Gs2-1TW.7	0.05576	0.00059	0.54492	0.0031	0.07095	0.00032	0.02134	0.00008	443	6	442	2	442	2	427	2	<1.48	876.8	53.99	162	3687.8	2733.5	1.35
Gs2-1TW.11	0.05674	0.00087	0.55300	0.0068	0.07072	0.00038	0.02238	0.00013	481	18	447	4	440	2	447	3	<1.50	111.4	6.87	21.1	505.19	371.5	1.36
Gs2-1TW.13	0.05496	0.00067	0.53949	0.0045	0.07120	0.00034	0.02460	0.00012	411	10	438	3	443	2	491	2	1.85	288.7	18.11	52.7	1248.4	1007.7	1.24
Gs2-1TW.14	0.05613	0.00064	0.54836	0.0040	0.07087	0.00033	0.02190	0.00010	458	8	444	3	441	2	438	2	<1.41	363.2	23.41	50.1	1139	1212.6	0.94
Gs2-1TW.15	0.05576	0.00081	0.54488	0.0062	0.07088	0.00037	0.02199	0.00012	443	16	442	4	441	2	440	2	<1.17	536.2	33.97	89	2020.8	1863.9	1.08
Gs2-1TW.16	0.05400	0.00055	0.53276	0.0029	0.07155	0.00032	0.02141	0.00008	371	6	434	2	445	2	428	2	<1.31	886.6	54.59	181	4192.2	2835.2	1.48
Gs2-1TW.17	0.05626	0.00058	0.55283	0.0032	0.07127	0.00032	0.01997	0.00008	463	6	447	2	444	2	400	2	10.86	1488.8	101.49	166	4305.8	4999.4	0.86
Gs2-1TW.19	0.05293	0.00061	0.52243	0.0039	0.07158	0.00034	0.02188	0.00010	326	9	427	3	446	2	437	2	<1.57	234.7	14.26	35.3	802	739.27	1.08
Gs2-1TW.20	0.05317	0.00078	0.52330	0.0062	0.07138	0.00038	0.02229	0.00014	336	17	427	4	444	2	446	3	4.31	145.4	13.35	22.7	400.7	444.6	0.90
Gs2-1TW.23	0.05350	0.00077	0.52850	0.0061	0.07164	0.00038	0.02082	0.00011	350	17	431	4	446	2	416	2	<1.51	254.3	15.77	60	1474.2	854.1	1.73
Gs1-1TW.1	0.05695	0.0010	0.55405	0.00823	0.07056	0.0004	0.02096	0.0002	490	22	448	5	440	2	419	3	<0.56	45.82	2.897	5.28	116.09	146.12	0.79
Gs1-1TW.2	0.08064	0.00169	0.77663	0.01435	0.06985	0.0005	0.02902	0.0003	1213	25	584	8	435	3	578	6	0.76	17.53	1.417	1.991	33.82	55.62	0.61
Gs1-1TW.3	0.05583	0.00088	0.54917	0.00702	0.07134	0.0004	0.02237	0.0001	446	19	444	5	444	2	447	3	0.96	66.09	4.69	10.95	207.47	199.84	1.04
Gs1-1TW.6	0.06334	0.00097	0.61408	0.0075	0.07032	0.0004	0.02237	0.0001	555	57	455	9	436	3	433	2	<0.61	40.37	2.776	7.42	152.3	126.69	1.20
Gs1-1TW.7	0.05930	0.00123	0.57328	0.0105	0.07011	0.0005	0.02153	0.0002	578	29	460	7	437	3	431	4	<0.61	19.65	1.277	2.829	58	59.55	0.97
Gs1-1TW.8	0.06499	0.0013	0.63645	0.01113	0.07103	0.0005	0.02313	0.0002	588	64	464	10	439	3	436	2	1.41	36.49	3.32	5.25	87.97	114.15	0.77
Gs1-1TW.9	0.05492	0.00111	0.53970	0.00963	0.07127	0.0005	0.02311	0.0002	409	29	438	6	444	3	462	4	<0.53	30.36	1.84	3.55	70.78	94.71	0.75
Gs1-1TW.11	0.05468	0.00081	0.53877	0.00621	0.07145	0.0004	0.02274	0.0001	399	17	438	4	445	2	454	2	<0.55	150.44	9.17	34.32	738.27	470.1	1.57
Gs1-1TW.14	0.05852	0.00177	0.57683	0.01635	0.07149	0.0006	0.02286	0.0004	476	85	449	13	444	4	443	3	1.38	26.24	2.547	3.089	44.69	84.1	0.53
Gs1-1TW.15	0.05918	0.00155	0.57236	0.01387	0.07015	0.0006	0.02326	0.0003	574	39	460	9	437	3	465	6	<0.59	24.34	1.804	3.03	55.17	74.99	0.74
Gs1-1TW.18	0.06533	0.00109	0.63887	0.00878	0.07093	0.0004	0.02379	0.0002	785	19	502	5	442	2	475	3	0.62	31.22	2.255	4.84	94.06	96.22	0.98
Gs1-1TW.21	0.05714	0.0009	0.56071	0.00714	0.07117	0.0004	0.02182	0.0002	497	19	452	5	443	2	436	3	<0.58	49.42	3.15	4.89	99.61	154.69	0.65
Gs1-1TW.22	0.05584	0.00117	0.54699	0.01018	0.07105	0.0005	0.02193	0.0002	446	30	443	7	442	3	438	4	<0.56	24.43	1.621	2.525	53.16	77	0.69
Gs1-1TW.23	0.06269	0.00139	0.61496	0.01226	0.07114	0.0005	0.02586	0.0003	698	30	487	8	443	3	516	6	<0.55	25.37	1.672	3.179	63.26	80.84	0.78
Gs1-1TW.24	0.05952	0.00111	0.58310	0.0094	0.07105	0.0004	0.0225	0.0002	512	57	453	9	441	3	440	2	<0.56	32.45	2.117	3.63	69.73	93.9	0.74
Gs1-1TW.25	0.07725	0.00127	0.75964	0.0103	0.07131	0.0004	0.02475	0.0002	573	68	457	11	434	3	431	2	1.28	46.22	3.81	7.97	155.71	145.47	1.07
Gs1-1TW.26	0.05480	0.00106	0.53061	0.00894	0.07023	0.0004	0.02198	0.0002	404	27	432	6	438	3	439	3	<0.58	51.71	3.29	9.26	192.14	163.59	1.17

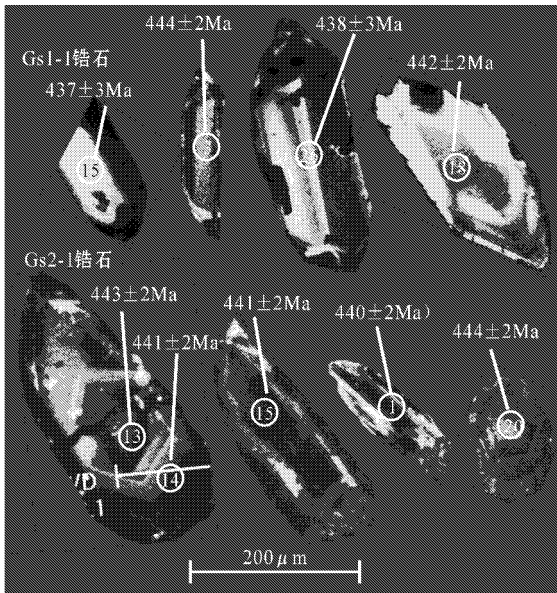


图 2 基性岩墙锆石部分阴极发光照片

Fig. 2 CL images of zircons from mafic dykes

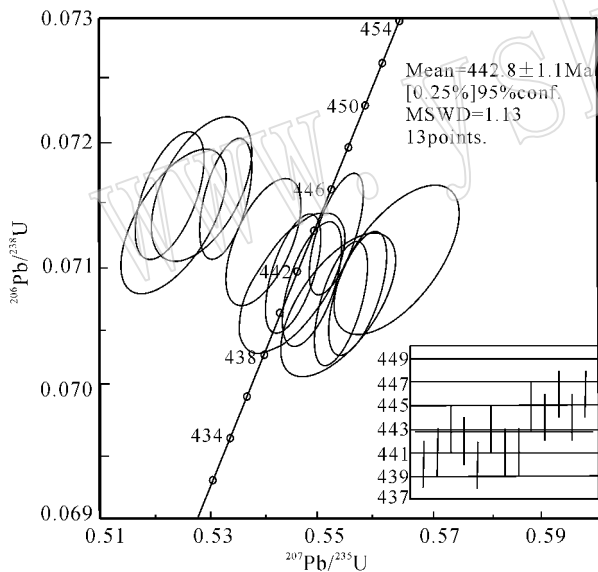


图 3 Gs2 基性岩墙锆石 U-Pb 不一致曲线图

Fig. 3 U-Pb discordant diagram of zircons from Gs2 mafic dyke

Gs1-1TW 样品与 Gs2-1TW 特征相同,但由于受后期变质改造明显, ^{204}Pb 含量较前者略高。在谐和曲线图(图 4)上,17 个点形成浓集中心,其加权平均年龄为 $440 \pm 1.7 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 1.7$,与各点形成的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在误差范围内完全一致,代表岩浆形成年龄。

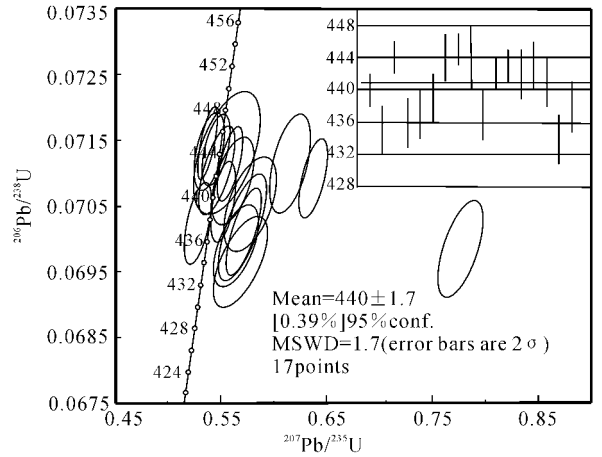


图 4 Gs1 基性岩墙锆石 U-Pb 不一致曲线图

Fig. 4 U-Pb discordant diagram of zircons from Gs1 mafic dyke

4 岩石化学、地球化学特征

岩石化学、地球化学样品在中国地质大学(北京)地学实验中心测试,主量元素采用 X 荧光光谱分析,其中 Fe_3O_2^T 、 CO_2 、 H_2O 为湿化学分析方法, CO_2 、 H_2O 不记入总量加和数值。微量元素采用 ICP-MS 法(电感耦合等离子质谱法)测试,化学分析结果见表 2、表 3。

岩石 SiO_2 含量介于 48%~50% 之间,属基性岩范围; TiO_2 含量为 0.36%~1.25%; $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, σ 介于 0.8~1.2 之间,属亚碱系列钙碱性岩。在微量元素蛛网图中,分布曲线特征与板内玄武岩曲线相似(图 5),大离子亲石元素(K、Rb、Ba、Th 等)富集,亏损高场强元素 Hf、Zr、Y、Yb 等;稀土元素总量(ΣREE)较低,均小于 100×10^{-6} , $\delta\text{Eu} = 0.91 \sim 1.10$,无 Eu 异常($\text{Nd}/\text{Yb})_N = 1.64 \sim 2.41$,轻重稀土元素分馏中等,稀土元素配分曲线向右缓倾(图 6),具板内玄武岩特征。

微量元素比值显示(表 3),两基性脉体为同源脉体, Ta/Yb 、 Ta/Hf 、 Th/Ta 、 La/Ta 等比值接近,经原始地幔标准化后的 $\text{Th}/\text{Nb} = 0.87 \sim 3.94$,显示源区与岩石圈地幔有关,在 $\text{Ba}/\text{Nb} - \text{La}/\text{Nb}$ 图解(图 7)中,样品多投入 EM I 附近,只有 1 个样点投入大陆地壳区域,显示岩石源岩来自于富集地幔岩石圈,但有一定程度的地壳混染。

表 2 基性岩墙常量元素分析结果表 $w_B/\%$

Table 2 Main element data of mafic dykes

样品	Gs1-1gh	Gs2-1gh	Gs2-2gh	Gs2-3gh	Gs2-4gh
SiO ₂	50.36	49.03	50.32	50.16	48.16
TiO ₂	0.77	0.48	0.37	0.36	1.25
Al ₂ O ₃	16.8	9.14	8.29	8.9	14.55
Fe ₂ O ₃ ^T	10.44	9.85	8.61	8.79	13.1
MnO	0.18	0.18	0.15	0.15	0.18
MgO	5.31	12.66	13.42	13.02	7.12
CaO	9.26	14.26	15.64	14.64	10.65
Na ₂ O	2.33	0.88	0.77	0.64	2.55
K ₂ O	1.69	0.61	0.48	0.83	0.58
P ₂ O ₅	0.2	0.12	0.1	0.1	0.18
LOI	1.93	1.99	1.23	1.76	0.87
CO ₂	0.96	0.77	0.77	0.38	0.19
σ	2.20	0.37	0.21	0.30	1.90
τ	18.79	17.21	20.32	22.94	9.60

表 3 基性岩墙微量元素和稀土元素分析结果表 $w_B/10^{-6}$

Table 3 Trace element and REE data of mafic dykes

样品	Gs1-1gh	Gs2-1gh	Gs2-2gh	Gs2-3gh	Gs2-4gh
Hf	3.075	1.598	1.167	1.256	1.575
Ta	0.656	0.381	0.334	0.272	0.303
Th	2.447	1.847	1.241	1.095	0.491
U	1.457	0.667	0.343	0.436	0.165
Pb	11.498	6.041	5.600	5.961	11.060
V	377.504	339.423	302.735	295.797	341.809
Cr	23.923	358.663	492.108	416.156	185.294
Co	80.037	73.307	94.166	95.512	70.629
Ni	43.644	107.629	145.370	161.824	109.554
Zn	119.175	101.195	76.707	80.349	135.795
Ga	19.608	12.369	10.517	11.204	20.435
Rb	59.824	17.027	16.621	33.209	24.280
Sr	367.640	229.311	227.943	183.627	255.040
Y	19.982	12.974	10.492	14.994	22.047
Zr	99.881	44.587	29.080	31.347	56.095
Nb	5.692	3.939	2.713	2.882	4.731
Rh	1.115	1.085	1.129	1.113	1.077
Cs	4.164	2.042	2.121	2.282	6.516
Ba	548.875	72.248	94.182	83.529	58.247
Ba/Nb	96.429	18.342	34.720	28.983	12.313
La/Nb	2.246	1.764	1.444	1.295	1.181
Th/Ta	3.730	4.852	3.713	4.029	1.621
Th/U	1.679	2.769	3.613	2.511	2.981
Th/Hf	0.796	1.156	1.064	0.872	0.312
La/Ta	19.485	18.256	11.722	13.731	18.436
Ta/Yb	0.276	0.247	0.268	0.294	0.138
Yb/Hf	0.773	0.964	1.068	0.736	1.394
Ta/Hf	0.213	0.238	0.286	0.216	0.192
Nb/Ta	8.676	10.347	8.117	10.603	15.616
(Th/Nb) _N	3.6	3.93	3.84	3.19	0.87
La	12.784	6.950	3.917	3.732	5.585
Ce	28.670	16.702	8.319	8.559	13.431
Pr	3.868	2.245	1.197	1.130	1.932
Nd	15.744	9.029	5.715	4.357	9.863
Sm	4.073	2.397	1.746	1.320	3.267
Eu	1.400	0.759	0.827	0.508	1.138
Gd	3.548	2.274	1.671	1.555	3.142
Tb	0.672	0.450	0.340	0.263	0.556
Dy	4.682	2.812	2.334	2.048	3.990
Ho	0.769	0.546	0.413	0.364	0.825
Er	2.182	1.472	1.136	1.117	2.115
Tm	0.365	0.234	0.204	0.149	0.308
Yb	2.378	1.541	1.246	0.924	2.196
Lu	0.412	0.240	0.191	0.165	0.319
∑REE	81.547	47.651	29.257	26.193	48.668
δEu	1.10	0.91	1.46	1.01	1.07
Sm/Yb	1.713	1.555	1.401	1.428	1.488
(Nd/Yb) _N	2.41	2.13	1.67	1.72	1.64

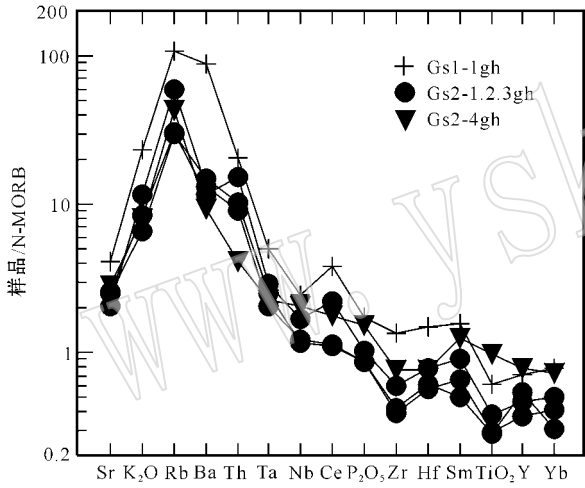


图 5 基性岩墙微量元素蛛网图

Fig. 5 Trace element patterns of mafic dykes

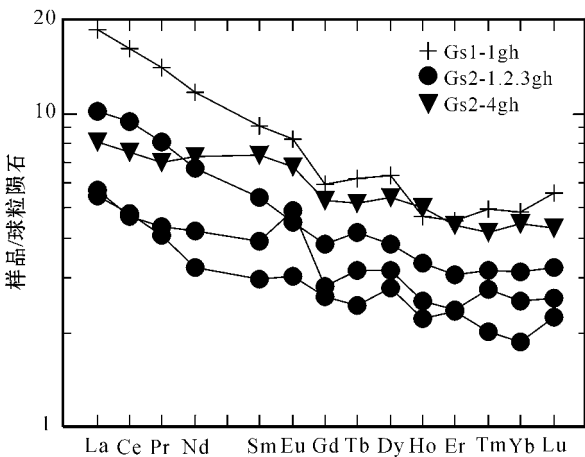


图 6 基性岩墙稀土元素配分图

Fig. 6 REE patterns of mafic dykes

5 地质意义

本次在秦祁造山带结合部位获得基性岩墙群 $442.8 \pm 1.1 \sim 440 \pm 1.7$ Ma 年龄,与加里东中晚期

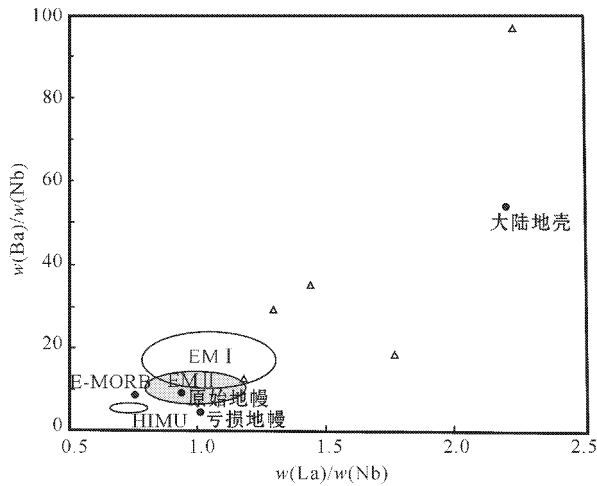


图 7 基性岩墙 Ba/Nb - La/Nb 图解

(引自张本仁等 2002)

Fig. 7 Ba/Nb - La/Nb graph of mafic dykes

(from Zhang Benren *et al.*, 2002)

秦岭造山带及祁连造山带火山弧或弧后盆地的裂解时代接近,可代表加里东运动俯冲碰撞后火山弧的裂解拉张及弧后盆地的形成时限,因而对加里东中晚期在秦岭及祁连地区的构造运动表现形式及造山作用过程的细节及其时限是一种很好的约束。区域上,紫阳-岚皋地区基性岩脉获锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄 433.55 ± 0.84 Ma,粗面岩 428.8 ± 2.4 Ma (张成立等 2005 年西大内部会议交流,未发表)。在同一地区,黄月华等(1992)获得碱质煌斑岩杂岩年龄 $431.9 \sim 413.10$ Ma,北祁连老虎山地区典型弧后扩张脊熔岩年龄为 453.56 ± 4.44 Ma (夏林圻等, 1991, 1995, 2003)。最近,笔者在甘肃省永靖县出露的马衔山岩群中获得基性岩墙群锆石 U-Pb LA-ICPMS 年龄为 $441.1 \pm 1.4 \sim 434 \pm 1.0$ Ma (何世平另文报道),闫全人(口述)在西峡发育于秦岭岩群中的基性岩墙获得近于一致的同位素年龄。上述年龄与本次所获基性岩墙的年龄非常相近,佐证了这一年龄具有一定的普遍意义。

与全球各大陆基性岩墙群大致发育时代相比,中央造山带的秦岭-祁连地区可能普遍存在 4 亿年的基性岩墙群,说明中央造山带不同于世界其他地区,有其特殊的动力学机制及演化过程。目前,对这一时代的基性岩墙的研究较为缺乏,而这期伸展裂解事件与成矿关系密切,因此对其研究具有非常重要的现实意义。

基性岩墙群一般来自深部软流圈或地幔岩石

圈,其发育既表明具相当规模已固结的稳定、刚性、半刚性陆块(大陆板块)的存在,也是大陆板块裂解的重要标志(Windley, 1984; Fahri, 1987; 白谨等, 1993; 徐学义等, 2001),它主要呈 3 支放射状、平行状的直立或陡倾斜的岩墙状产出,同时伴有平行层理的岩席状(Windley, 1984; Fahri, 1987; 周鼎武等, 1988)。呈放射状产出的基性岩墙群是地幔热柱上涌、陆壳呈三联点式破裂,在张性中心沿破裂侵位所致。平行状产出的岩墙群则是继三联点式破裂之后,在陆块裂谷作用和裂离作用期间在废弃裂谷(拗拉槽)或裂谷两侧陆缘(早期被动边缘)的侵位产物(Fahri, 1987; 周鼎武等, 1998)。据 2000 年以来中国地质调查局 1/25 万区域地质调查研究成果,在秦岭-祁连地区,基性岩墙群多呈近北西向近平行展布,代表造山期后或大陆地壳初始伸展裂解的时限,本次获得基性岩墙年龄,属加里东构造的后期,同时在甘肃永靖县南马衔山岩群中、河南西峡秦岭岩群中也发现同时代的基性岩群,说明在中央造山带中部(秦岭造山带-东祁连造山带)存在志留纪时期的伸展裂解事件,这一成果的取得,不仅对该区加里东运动的演化及动力学过程研究有帮助,也对研究探讨秦岭造山带关系有所帮助。

致谢:作者在成文过程中,与张二朋研究员、杨永成教授级高工进行了有益的探讨,得到肖文交研究员、闫臻博士的帮助,在此深表衷心的感谢!同时感谢西北大学大陆动力学国家重点实验室第五春荣、林慈奎、柳小明等在 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测试中给予的热情指导和帮助!

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79 (in English).
- Bai Jin, Huang Xueguang, Dai Fengyan, *et al.* 1993. Precambrian Lithosphere Evolution from China [J]. Beijing: Geological Publishing House, 171~172 (in Chinese).
- Ballard J R, Palin J M, Williams I S, *et al.* 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP [J]. *Geology*, 29: 383~386.
- Fahri W F. 1987. The Tectonic Settings of Continental Mafic Dyke Swarms: Failed Arm and Early Passive Margin Mafic Dyke Swarms [M]. *Geologic Association of Canada Special Paper*, 34: 331~347.

- Horn I, Rudnick R L and McDonough W F. 2000. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS: Application to U-Pb geochronology[J]. *Chem Geol*, 167: 405~425.
- Huang Yuehua, Ren Youxiang, Xia Linqi, *et al.* 1992. Twin mode volcanic sequence of the Paleozoic in North Daba Mountains: an example from diabase of Gaotan County and strachyte of Haoping County[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 8(3): 243~256 (in Chinese with English abstract).
- Kosler J, Fonneland H, Sylvester P, *et al.* 2002. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies—a comparison of laser ablation ICPMS and SIMS techniques[J]. *Chemical Geology*, 182: 605~618.
- Sun Yangui, Zhang Guowei, Wang Jin, *et al.* 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of the basic sill swarms of two periods in the junction area of Qinling and Kunlun and its tectonic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 65~71 (in Chinese with English abstract).
- Windley B F. 1984. *The Evolving Continents* (Second Edition) [M]. John Wiley & Sons Ltd.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, *et al.* 1991. Determination of magmatic nature of Ordovician island arc volcanic series in the Shihuigou area in the Northern Qilin Mountains[A]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 10(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. 1995. Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from North Qilian Mountains[J]. *North-west Geoscience*, 16(1): 1~20 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. 2003. Magmagenesis of Ordovician back-arc basins in the Northern Qilian Mountains[J]. *Geology in China*, 30(1): 48~60 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, *et al.* 1994. The Geochemistry of Alkali Basic-ultrabasic Subvolcanics Complex from North Daba Mountain[M]. Beijing Geological Publishing House (in Chinese).
- Xu Xueyi, Huang Yuehua, Xia Linqi, *et al.* 1999. Features of Early Palaeozoic Mantle beneath Langao County and Its Formation Mechanism[J]. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 356~365.
- Xu Xueyi, Xia Linqi, Xia Zuchun, *et al.* 2001. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Early Paleozoic alkali lamprophyre complex from Langao County[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(1): 55~60 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. LA-ICPMS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511~1520 (in Chinese).
- Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Han Song, *et al.* 1995. Tectonic setting on the two different tectonics-magma complex of the East Qinling in Early Paleozoic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2): 115~126 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Zhang Chengli and Liu Yinyu. 1998. Study on basic dyke swarms developed in the basement in the continental orogen: an example from Wudang block in southern Qinling[J]. *Advance in Earth Sciences*, 11(2): 151~156 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Wang Juli, *et al.* 1997. Study on basic dyke swarms of Wudang block and its geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 42(23): 2546~2549 (in Chinese).

附中文参考文献

- 白瑾, 黄学光, 戴凤岩, 等. 1993. 中国前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 地质出版社, 171~172.
- 黄月华, 任有祥, 夏林圻, 等. 1992. 北大巴山古生代双模式火成岩套——以高滩辉绿岩和蒿坪粗面岩为例[J]. *岩石学报*, 8(3): 243~256.
- 孙延贵, 张国伟, 王瑾, 等. 2004. 秦昆结合区两期基性岩墙群 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年及其构造意义[J]. *地质学报*, 78(1): 65~71.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 1991. 北祁连山灰沟奥陶纪岛弧火山岩系岩浆性质的确定[J]. *岩石矿物学杂志*, 10(1): 1~10.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 1995. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. *西北地质科学*, 16(1): 1~28.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 2003. 北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩浆成因[J]. *中国地质*, 30(1): 48~60.
- 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 等. 1994. 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.
- 徐学义, 夏林圻, 夏祖春, 等. 2001. 岚皋早古生代碱质煌斑杂岩地球化学特征及成因探讨[J]. *地球学报*, 22(1): 55~60.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入岩的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. *科学通报*, 7(14): 1511~1520.
- 周鼎武, 张成立, 韩松, 等. 1995. 东秦岭早古生代两条不同构造-岩浆杂岩带的形成构造环境[J]. *岩石学报*, 11(2): 115~126.
- 周鼎武, 张成立, 刘颖宇. 1998. 大陆造山带基底岩块中的基性岩墙群研究——以南秦岭武当地块为例[J]. *地球科学进展*, 11(2): 151~156.
- 周鼎武, 张成立, 王居里, 等. 1997. 武当地块基性岩墙群初步研究及其地质意义[J]. *科学通报*, 42(23): 2546~2549.