

西大别造山带夏店岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其 A 型花岗岩的厘定

万俊, 吴波, 郭盼, 刘万亮, 刘成新

(湖北省地质调查院, 湖北 武汉 430034)

摘要: 对西大别造山带夏店岩体进行了系统的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年、岩石地球化学研究, 发现该岩体化学成分具富硅、碱, 贫钙、镁、铝等特点; 岩石轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, 轻重稀土元素分馏明显, Eu 亏损明显; Rb、K、Th 等大离子亲石元素和 Pb 元素富集, Ta、Nb、Ti 等高场强元素亏损和 Sr、Ba 元素亏损; 岩石成因类型上属于 A 型花岗岩。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示夏店岩体²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 130.0 ± 1.8 Ma, 代表岩体的结晶年龄, 显示该岩体为早白垩世岩浆活动的产物。夏店岩体 A 型花岗岩形成于造山期后环境, 预示着桐柏-大别造山带板内演化阶段的到来。

关键词: 锆石 U-Pb 定年; 岩石地球化学; A 型花岗岩; 夏店岩体; 西大别

中图分类号: P588.12⁺1; P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)05-0633-13

Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the Xiadian magmatic rock body in Western Dabie orogenic belt and its redefinition as the A-type granite

WAN Jun, WU Bo, GUO Pan, LIU Wan-liang and LIU Cheng-xin

(Hubei Geological Survey, Wuhan 430034, China)

Abstract: In this paper, the authors systematically performed zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and studied rock geochemistry for Xiadian magmatic rock body in Western Dabie orogenic belt. The study shows that the rock body has characteristics of richer silicon and higher alkali, and poor Ca, Mg and Al. The rock body is characterized by enrichment of LREE, depletion of HREE, obvious fractionation between LREE and HREE, and strong depletion of Eu. The rocks are enriched in LILE (Rb, K, Th, etc) and Pb elements, and are depleted in HFSE (Ta, Nb, Ti, etc) and Sr and Ba elements. The rock body belongs to A-type granite in rock type. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yielded a ²⁰⁶Pb/²³⁸U weighted average age of 130.0 ± 1.8 Ma for Xiadian magmatic rock body, which represents the crystallization age of the rock body, suggesting the Early Cretaceous magmatism product. A-type granites of Xiadian magmatic rock were formed in a post-orogenic environment, which indicates that the Tongbai-Dabie orogenic belt entered the plate evolution stage.

Key words: zircon U-Pb dating; geochemical characteristics; A-type granite; Xiadian magmatic rock body; Western Dabie orogenic belt

Fund support: Geological Survey Program of China Geological Survey (12120114048301); Special Research for Department of Land and Resources of Hubei Province (ETZ2016A01)

收稿日期: 2016-12-05; 接受日期: 2017-05-17

基金项目: 中国地质调查局项目(12120114048301); 湖北省国土厅科研专项(ETZ2016A01)

作者简介: 万俊(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事区域地质矿产调查, E-mail: hanwuji3360@qq.com。

大别造山带是世界上规模最大的超高压变质带,前人对其进行了大量研究,并取得了丰富的成果(从柏林,1996; Hacker *et al.*, 1996; Zhang, 1997; Hacker *et al.*, 1998; 马昌前等, 1999; Liu *et al.*, 2004; 李曙光, 2004; 郑永飞, 2008; 赵子福等, 2009)。与超高压变质岩相伴生,大别造山带内还发育大量白垩纪花岗岩(马昌前等, 2003; 续海金等, 2008; 魏庆国等, 2010; 陈伟等, 2013),研究这些花岗岩对认识俯冲大陆岩石圈再循环和造山带演化具有重要意义。与大别地区高压-超高压变质岩研究程度相比,这些花岗岩的研究显得十分薄弱。夏店岩体作为西大别造山带面积较大花岗岩基之一,前人对其研究程度较浅,仅对其形成时代进行了初步的探讨(李石等, 1991; 陈玲等, 2012),对其岩石成因类型和构造背景等问题缺乏系统研究和深入探

讨。鉴于上述情况,本文以正在开展的 1:5 万区调项目做依托,对工作区内夏店花岗岩岩基作为研究对象,在详细的野外地质工作和岩相学观察的基础上,结合岩石地球化学、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年等测试,参照前人研究成果,探讨了夏店花岗岩岩基的形成时代、岩石成因类型和构造背景。

1 区域地质及岩相学

夏店花岗岩岩基位于湖北省大悟县南部约 25 km,大地构造位置处于大别造山带西端,是西大别地区几个出露规模巨大的花岗岩岩基之一。夏店岩体呈椭圆状沿北西向展布(图 1),长约 16 km,宽约 12 km,面积约 135 km²。岩体与围岩呈侵入接触关系,主要侵入于红安岩群七角山组之中,岩体向四周

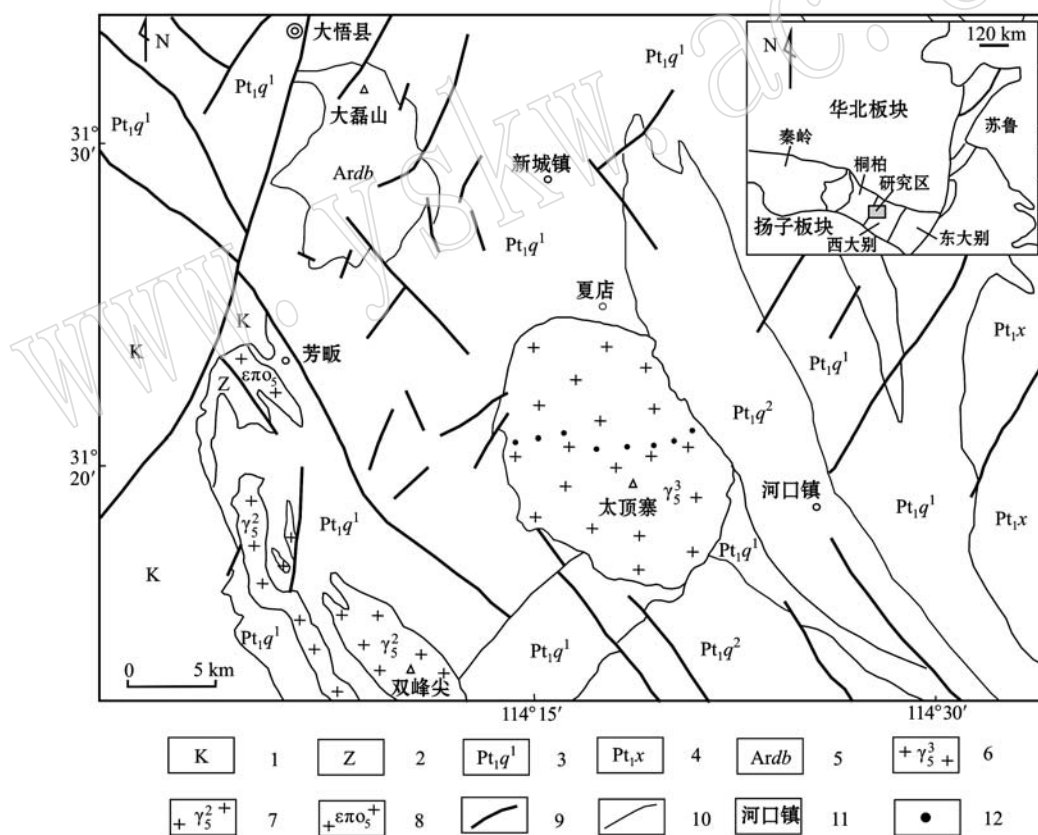


图 1 夏店岩体区域地质简图

Fig. 1 Generalized geological map of Xiadian granite

- 1—白垩系; 2—震旦系; 3—古元古界七角山组; 4—古元古界新县组; 5—太古宇大别岩群; 6—白垩纪花岗岩; 7—侏罗纪花岗岩; 8—石英正长斑岩; 9—断层; 10—地质界线; 11—地名; 12—采样位置
- 1—Cretaceous; 2—Sinian; 3—Paleoproterozoic Qijiaoshan Formation; 4—Paleoproterozoic Xinxian Formation; 5—Archean Dabie Group; 6—Cretaceous granite; 7—Jurassic granite; 8—quartz orthoclase porphyry; 9—fault; 10—geological boundary; 11—place name; 12—sampling position

倾没, 北部较陡, 倾角在 50° 以上。七角山组主要由白云钠长片麻岩、白云钠长石英片岩和白云石英片岩组成, 夹钠长阳起片岩、钠长角闪片岩、浅粒岩及榴闪岩。区域上中生代岩浆活动强烈, 大的花岗岩基和中酸性小岩体共存, 既有深成相, 也有浅成相、超浅成相和喷发相, 从早白垩世的中性岩开始, 到晚白垩世的酸性岩结束。区域内的断裂构造发育, 主要发育有北西向、近南北向和东北向断裂。

经详细的野外调查发现, 夏店岩体岩性较为单一, 为浅肉红色黑云二长花岗岩, 但岩石相带清楚, 分中心相和边缘相, 中心相以中粗粒二长花岗岩为主, 边缘相以中细粒二长花岗岩为主。结合本次区调工作和前人资料, 认为夏店岩体为热轻气球膨胀模式就位的产品。

浅肉红色黑云二长花岗岩具中细-中粗粒花岗结构, 块状构造(图 2a、2b)。主要矿物有钾长石、钠

长石、石英及少量黑云母。副矿物为榍石、磷灰石、磁铁矿等。长英质矿物彼此紧密镶嵌排列。钾长石($28\% \pm$)呈半自形-自形板柱状, 具卡斯巴双晶; 钠长石($40\% \pm$)普通发育双晶, 并具环带状构造; 石英($27\% \pm$)他形粒状, 主要展布于长石之间; 黑云母($2\% \pm$)鳞片状, 深褐色, 具玻璃光泽(图 2c、2d)。

2 锆石 U-Pb 年龄

2.1 测试方法

在大悟县刘集镇茅屋冲附近(GPS 坐标: N $31^{\circ}20.52'$, E $114^{\circ}15.85'$)采集了质量约 5 kg 的中细粒二长花岗岩样品, 采用常规方法进行粉碎, 将粉末淘洗, 进行电磁选和重液分选, 最后在双目镜下挑选锆石晶体。选择其中晶形完好的颗粒制成样靶, 用于可见光和阴极发光(CL)显微照相及 U-Pb 同位素

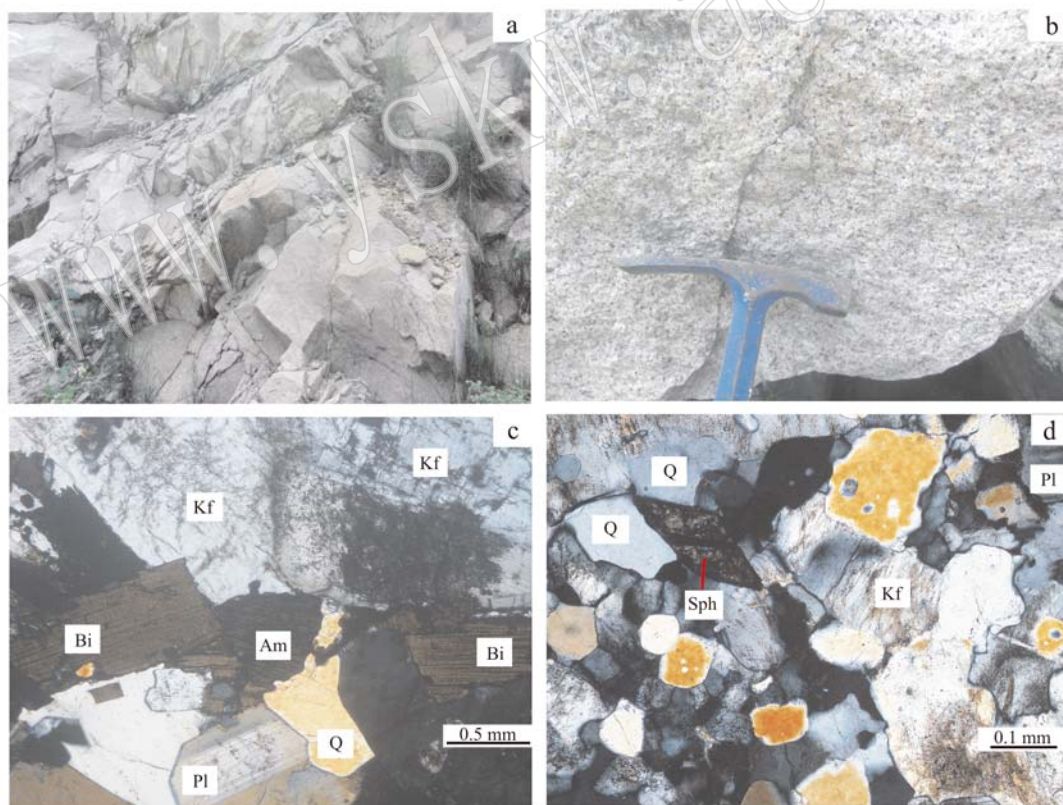


图 2 夏店岩体野外和显微照片

Fig. 2 Field photograph and microphotographs of Xiadian granite

a—二长花岗岩岩体野外露头; b—二长花岗岩野外特征; c—二长花岗岩中粗粒花岗结构, 正交偏光; d—二长花岗岩中细粒花岗结构,

正交偏光; Kf—钾长石; Pl—斜长石; Q—石英; Am—角闪石; Bi—黑云母; Sph—榍石

a—field outcrops of adamellite rock mass; b—field characteristics of adamellite; c—medium-sized granite structure of adamellite,

crossed nicols; d—fine-grained granite structure of adamellite, crossed nicols; Kf—K-feldspar;

Pl—plagioclase; Q—quartz; Am—amphibole; Bi—biotite; Sph—sphene

分析。锆石阴极发光(CL)显微照相和锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产国家重点实验室进行,锆石 U-Pb 同位素分析在激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成。激光剥蚀系统配有 193 nm Ar-excimer 激光器 Geolas 200M,激光剥蚀斑束直径为 32 μm ,剥蚀深度为 20~40 μm ,采用标准锆石 91500 作为外标,使用的 LA-ICP-MS 为 Agilent7500a 型,仪器参数和分析流程见文献(袁洪林等,2013)。同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(4.0 版)软件,采用 Anderson(2002)编制的软件对测试数据进行普通铅校正,采用 ISOPLOT(3.23)程序进行加权平均计算和 U-Pb 谐和图绘制(Ludwig, 2003)。

2.2 测试结果

锆石样品晶形相对完好,主要为长柱状,长宽比在 1.0~3.0 之间。锆石颜色以浅黄色为主,透明~半透明。对 18 个锆石颗粒的 18 个点进行了 U-Pb 同位素分析,详细结果见表 1。锆石 Th 含量为 $87 \times 10^{-6} \sim 739 \times 10^{-6}$,平均值 193×10^{-6} ;U 含量为 88

$\times 10^{-6} \sim 627 \times 10^{-6}$,平均值 167×10^{-6} ;Th/U 值较高,介于 0.97~1.33 之间,平均为 1.14。锆石的阴极发光图像显示出较清晰的震荡环带(图 3),表明锆石为岩浆锆石(Wu and Zheng, 2004;周剑雄等, 2007)。从表 1 中可以看出,锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄比较集中,18 颗锆石的年龄值介于 $120 \pm 3 \sim 135 \pm 4$ Ma 之间,获得锆石加权平均年龄值为 130.0 ± 1.8 Ma(MSWD=0.93,置信度为 95%)(图 4),该年龄代表夏店岩体结晶年龄。

3 地球化学特征

主、微量元素分析在澳实分析检测(广州)有限公司完成。主量元素采用 X 射线荧光光谱化学分析(XRF)熔铸玻璃片法分析,分析仪器为 Phillips PW2400,分析精度优于 1%~2%。微量元素分析在 ICP6300 上进行,分析精度可达 5%。

3.1 主量元素

夏店二长花岗岩的主微量元素分析结果见表 2。

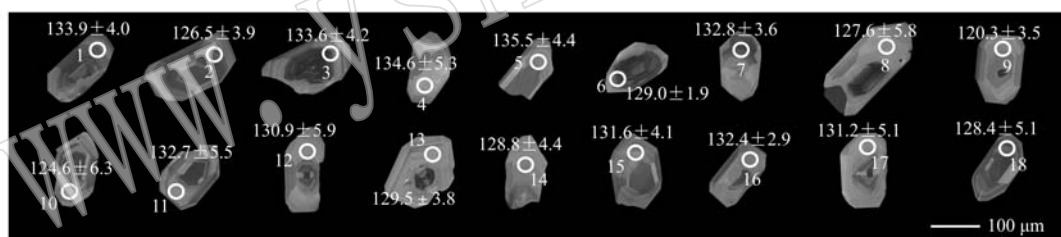


图 3 夏店岩体锆石 CL 图像

Fig. 3 CL images of zircons from Xiadian granite

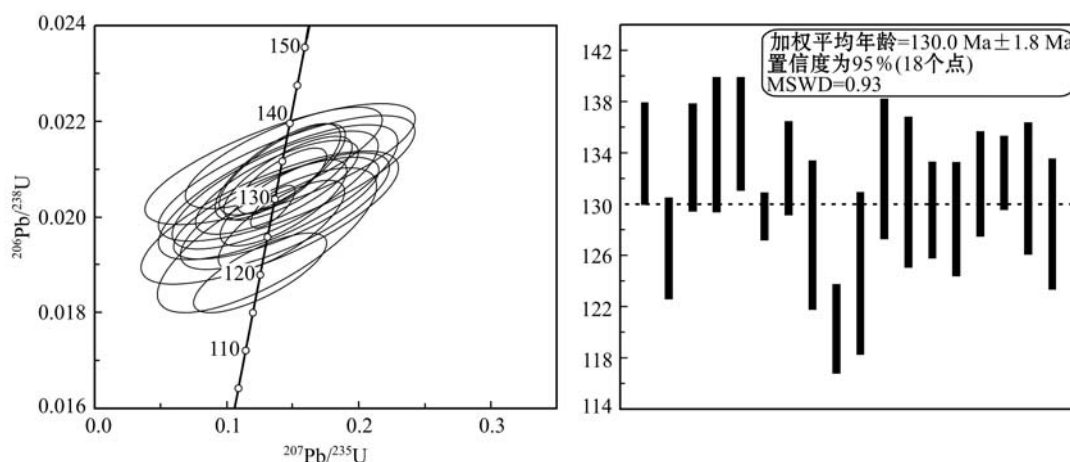


图 4 夏店岩体锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams of zircons from Xiadian granite

表 1 夏店岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 Result of zircons LA-ICP-MS dating for the Xiadian granite

分析号	$w_B/10^{-6}$			同位素比值						同位素年龄/Ma						
	Total Pb	^{232}Th	^{238}U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
403-01	21.5	272	210	1.30	0.0508	0.0127	0.1422	0.0315	0.0210	0.0006	231.6	496	135.0	28.0	133.9	4.0
403-02	16.8	234	220	1.06	0.0670	0.0186	0.1416	0.0316	0.0198	0.0006	838.9	603	134.5	28.1	126.5	3.9
403-03	16.3	202	169	1.20	0.0466	0.0131	0.1388	0.0314	0.0209	0.0007	27.9	563	132.0	28.0	133.6	4.2
403-04	7.3	97	89	1.09	0.0519	0.0342	0.1405	0.0676	0.0211	0.0008	279.7	1060	133.5	60.2	134.6	5.3
403-05	10.3	130	120	1.09	0.0525	0.0342	0.1433	0.0493	0.0212	0.0007	305.6	1050	136.0	43.8	135.5	4.4
403-06	53.6	739	627	1.18	0.0495	0.0042	0.1350	0.0111	0.0202	0.0003	168.6	185	128.6	9.9	129.0	1.9
403-07	14.9	180	158	1.14	0.0525	0.0127	0.1465	0.0321	0.0208	0.0006	305.6	483	138.8	28.4	132.8	3.6
403-08	5.5	87	88	0.98	0.2622	0.1136	0.1327	0.0644	0.0200	0.0009	3260.2	743	126.5	57.7	127.6	5.8
403-09	15.1	216	169	1.28	0.0494	0.0160	0.1254	0.0333	0.0188	0.0005	164.9	622	119.9	30.0	120.3	3.5
403-10	9.6	115	91	1.27	0.0626	0.0517	0.1306	0.0548	0.0195	0.0010	694.5	1239	124.6	49.3	124.6	6.3
403-11	8.5	115	101	1.14	0.1332	0.0745	0.1455	0.0642	0.0208	0.0009	2139.8	1167	137.9	56.9	132.7	5.5
403-12	10.4	104	97	1.07	0.1817	0.1045	0.1390	0.0599	0.0205	0.0009	2668.2	1135	132.1	53.4	130.9	5.9
403-13	15.0	215	191	1.12	0.0641	0.0136	0.1431	0.0317	0.0203	0.0006	744.1	461	135.8	28.1	129.5	3.8
403-14	8.3	124	108	1.14	0.0599	0.0268	0.1376	0.0514	0.0202	0.0007	598.2	756	130.9	45.8	128.8	4.4
403-15	9.0	119	123	0.97	0.0266	0.0276	0.1381	0.0407	0.0206	0.0006	39.3	263	131.4	36.3	131.6	4.1
403-16	20.2	279	245	1.14	0.0532	0.0085	0.1420	0.0223	0.0208	0.0005	344.5	318	134.8	19.8	132.4	2.9
403-17	11.8	139	105	1.33	0.0501	0.0248	0.1368	0.0515	0.0206	0.0008	198.2	867	130.2	46.0	131.2	5.1
403-18	6.1	114	104	1.10	0.2547	0.3447	0.1441	0.0523	0.0201	0.0008	3214.5	1292	136.7	46.4	128.4	5.1

表 2 夏店岩体主量元素($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果
Table 2 Major element ($w_B/\%$) and trace element($w_B/10^{-6}$) data for the Xiadian granite

样号	PM403/46-1	PM403/64-1	PM403/67-1	D7877/1	D7877/3	D3853/2	D3853/3	D3853/4
岩性	二长花岗岩	中粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩	粗粒二长花岗岩	细粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩
SiO ₂	74.76	74.97	75.69	73.32	71.62	73.38	74.71	73.98
TiO ₂	0.18	0.16	0.16	0.15	0.21	0.17	0.15	0.16
Al ₂ O ₃	13.53	13.72	13.22	13.97	14.44	13.79	13.48	13.55
Fe ₂ O ₃	0.71	1.00	0.91	0.56	0.70	0.59	0.60	0.63
FeO	0.72	0.44	0.36	0.87	1.12	0.86	0.71	0.74
FeO ^T	1.36	1.34	1.18	1.38	1.75	1.39	1.25	1.30
MnO	0.06	0.03	0.06	0.03	0.03	0.06	0.05	0.06
MgO	0.21	0.21	0.09	0.34	0.54	0.24	0.19	0.20
CaO	0.75	0.50	0.24	0.96	1.25	0.81	0.66	0.66
Na ₂ O	4.23	3.89	3.86	4.18	4.43	4.41	4.26	4.29
K ₂ O	4.86	4.83	4.93	4.80	4.54	4.77	4.89	4.80
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10	0.03	0.03	0.02
Lost	0.32	0.60	0.62	0.57	0.55	0.58	0.40	0.27
总量	100.36	100.38	100.17	99.78	99.53	99.69	100.13	99.36
Alk	9.09	8.72	8.79	8.98	8.97	9.18	9.15	9.09
K ₂ O/Na ₂ O	1.15	1.24	1.28	1.15	1.02	1.08	1.15	1.12
A/CNK	1.00	1.09	1.09	1.01	1.00	0.99	1.00	1.01
A/NK	1.11	1.18	1.13	1.16	1.18	1.11	1.10	1.11
La	51.20	29.90	44.70	41.60	47.50	47.00	41.50	43.60
Ce	94.90	60.10	79.10	73.40	81.20	82.90	72.20	80.30
Pr	8.98	4.93	7.47	7.20	7.83	8.15	6.95	7.80
Nd	30.90	15.80	24.10	23.20	25.00	26.10	22.50	24.90
Sm	5.08	2.53	3.95	3.77	3.78	4.02	3.59	3.97
Eu	0.77	0.52	0.62	0.71	0.88	0.61	0.55	0.57
Gd	4.09	1.83	3.24	2.94	2.60	3.11	2.53	2.93
Tb	0.53	0.26	0.42	0.42	0.33	0.45	0.38	0.42
Dy	3.29	1.64	2.57	2.41	1.81	2.56	2.12	2.43

续表 2
Continued Table 2

样号	PM403/46-1	PM403/64-1	PM403/67-1	D7877/1	D7877/3	D3853/2	D3853/3	D3853/4
岩性	二长花岗岩	中粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩	粗粒二长花岗岩	细粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩	中粒二长花岗岩
Ho	0.69	0.35	0.55	0.52	0.35	0.56	0.45	0.53
Er	2.01	1.04	1.59	1.44	1.01	1.62	1.24	1.52
Tm	0.32	0.18	0.26	0.23	0.16	0.27	0.22	0.25
Yb	2.00	1.31	1.88	1.59	1.11	1.82	1.47	1.73
Lu	0.30	0.22	0.30	0.28	0.20	0.30	0.26	0.29
Y	19.40	10.90	17.40	16.00	11.40	15.70	14.00	15.70
ΣREE	205.06	120.61	170.75	159.71	173.76	179.47	155.96	171.24
LREE	191.83	113.78	159.94	149.88	166.19	168.78	147.29	161.14
HREE	13.23	6.83	10.81	9.83	7.57	10.69	8.67	10.10
LREE/HREE	14.50	16.66	14.80	15.25	21.95	15.79	16.99	15.95
(La/Yb) _N	17.30	15.42	16.07	18.77	30.70	18.52	20.25	18.08
δEu	0.50	0.71	0.51	0.63	0.81	0.51	0.53	0.49
Rb	164.00	176.50	183.00	158.50	129.50	162.00	173.50	180.00
Ba	358.26	626.95	268.69	806	1343	358	358	358
Th	14.15	19.35	20.60	14.75	17.50	16.45	11.50	17.90
U	1.60	1.84	2.97	3.24	4.46	2.97	2.41	2.97
Pb	23.00	26.00	22.00	26.00	26.00	23.00	23.00	25.00
Ta	1.00	2.10	1.80	1.70	1.90	1.50	1.40	1.50
Nb	13.10	14.80	16.00	15.10	21.20	16.20	15.20	17.50
Sr	119.00	199.00	73.00	310.00	664.00	161.50	158.00	165.50
Zr	197.00	127.00	143.00	169.00	200.00	179.00	151.00	182.00
Hf	6.60	4.60	5.50	5.50	5.90	6.20	5.30	6.10
Ga	19.00	19.00	17.90	19.50	20.50	18.70	18.30	19.50

岩石 $\text{SiO}_2 = 71.62\% \sim 75.69\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.22\% \sim 14.44\%$, $\text{MgO} = 0.09\% \sim 0.54\%$, $\text{FeO}^T = 1.18\% \sim 1.75\%$, $\text{CaO} = 0.24\% \sim 1.25\%$ 。岩体碱含量高, $\text{K}_2\text{O} = 4.54\% \sim 4.93\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 3.86\% \sim 4.43\%$, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.72\% \sim 9.18\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.02 \sim 1.28$ 。岩体铝饱和指数 A/CNK 值介于 $0.99 \sim 1.09$ 之间, A/NK 值介于 $1.10 \sim 1.18$ 之间。在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解上投影点落于高钾钙碱性范围内(图5), 在 $A/\text{NK} - A/\text{CNK}$ 图解中大部分样品投影于弱过铝质花岗岩区(图6)。

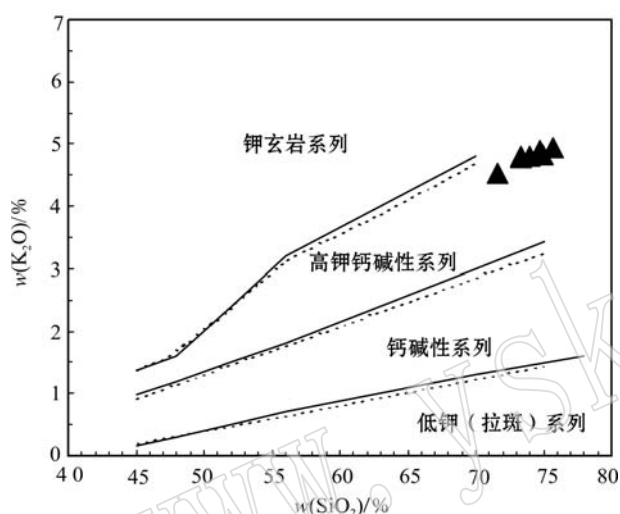


图5 夏店岩体 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解
(据 Peccerillo, 1976; Middlemost, 1985)

Fig. 5 Diagrams of $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ for Xiadian granite
(after Peccerillo, 1976; Middlemost, 1985)

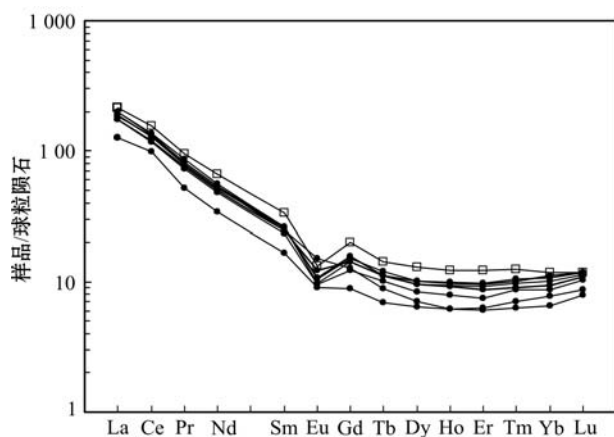


图7 夏店岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图
(标准化值据 Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns for Xiadian granite (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

3.2 稀土元素和微量元素

岩体稀土元素总量较低, 变化范围为 $(120.61 \sim 205.06) \times 10^{-6}$, 平均 167.07×10^{-6} , 其中 LREE 平均 157.35×10^{-6} , HREE 平均 9.72×10^{-6} , LREE/HREE 为 $14.50 \sim 21.95$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 $15.42 \sim 30.70$, 总体表现为轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, 轻重稀土元素分馏明显, Eu 亏损明显 (δEu 为 $0.49 \sim 0.81$)。在球粒陨石标准化配分模式图解(图7)上, 样品的稀土元素配分曲线为具负异常的右倾型谱图。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图8)

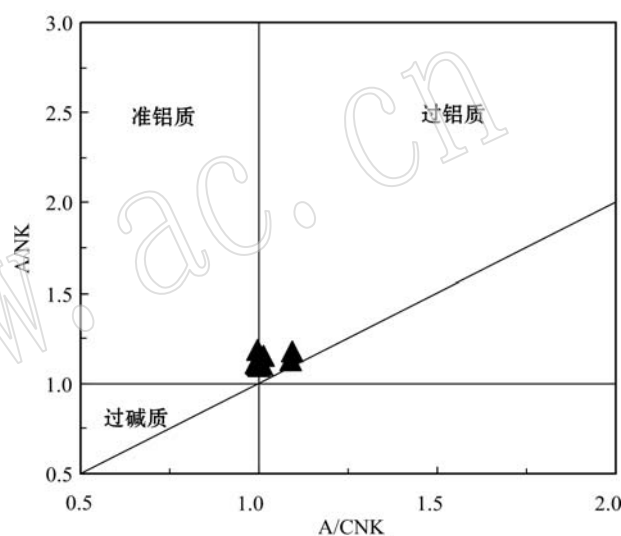


图6 夏店岩体 $A/\text{NK} - A/\text{CNK}$ 图解(据 Maniar 和 Piccoli, 1989)

Fig. 6 Diagrams of $A/\text{NK} - A/\text{CNK}$ for Xiadian granite
(after Maniar and Piccoli, 1989)

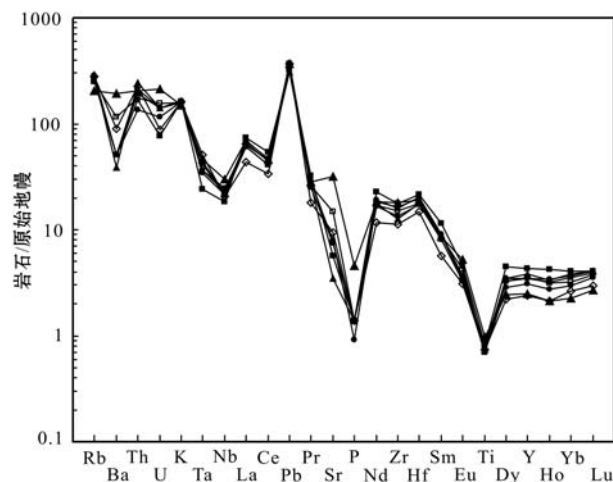


图8 夏店岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图
(标准化值据 Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 8 Trace element spider diagram for Xiadian granite
(normalization values after Sun and McDonough, 1989)

显示岩体 Rb、K、Th 等大离子亲石元素和 Pb 元素富集, Ta、Nb、Ti 等高场强元素亏损和 Sr、Ba 元素亏损。

4 讨论

4.1 成因类型

前人研究指出, 高分异 I、S 型花岗岩 ($\text{SiO}_2 > 74\%$) 和 A 型花岗岩在地球化学特征及矿物学特征方面十分相似, 常常难以区分(刘昌实等, 2003; 吴锁平等, 2007; 吴福元等, 2007; 贾小辉等, 2009)。夏店二长花岗岩的 SiO_2 含量较高, 介于 $71.62\% \sim 75.69\%$ 之间, 平均值为 74.05% , 属于典型的高分异型花岗岩。

从岩石主量元素特征来看, 岩体富碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.72\% \sim 9.18\%$), Al 含量较低 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.22\% \sim 14.44\%$), 贫 CaO ($0.24\% \sim 1.25\%$) 和 MgO ($0.09\% \sim 0.54\%$), 在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解上投影点落于高钾钙碱性范围内, 在 A/NK - A/CNK 图解中大部分样品投影于弱过铝质花岗岩区, 这些富硅、碱, 贫钙、镁、铝的特征与 A 型花岗岩相似(吴锁平等, 2007)。 FeO^T/MgO 的比值范围 $3.23 \sim 6.58$, 明显高于全球典型的 I 型花岗岩(平均值 2.27)和 S 型花岗岩(平均值 2.38)的 FeO^T/MgO 的比值(Whalen *et al.*, 1987)。同时岩体中 P_2O_5 含量在 $0.02\% \sim 0.10\%$ 之间, 明显低于高分异的 S 型花岗

岩中 P_2O_5 含量(平均值 0.14%)(贾小辉等, 2009)。另外夏店岩体全铁 FeO^T 介于 $1.18\% \sim 1.75\%$ 之间, 所有样品值均大于 1.00% , 与高分异 I 型花岗岩特征不符(I 型花岗岩全铁含量小于 1.00%)(贾小辉等, 2009)。在 Collins 等(1982)的 $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ 花岗岩成因判别图(图 9)上样品点均落在 A 型花岗岩区域中。

稀土元素特征上, 轻稀土元素富集, 出现弱到中等 Eu 负异常, δEu 为 $0.49 \sim 0.81$, 其分配模式呈略具右倾的海鸥型展布, 具有 A 型花岗岩的特征(Whalen *et al.*, 1987; Eby, 1992; King *et al.*, 1997)。岩体均具有微量元素 Rb、Th、Zr、Hf、Ga 等高场强元素富集, Sr、Ba、Ti、P 等元素出现亏损的特点, 与张旗等(2012)推荐的 A 型花岗岩判别特征一致。Nb/Ta 值 $7.04 \sim 13.10$ 在铝质 A 型花岗岩的 Nb/Ta 值 $5.70 \sim 16.36$ (45 件样品统计值)(刘昌实等, 2003)范围之内。 $10^4 \text{ Ga}/\text{Al}$ 值 $2.56 \sim 2.71$ 之间, 平均值 2.62 与 Whalen 等(1987)厘定的 A 型花岗岩 $10^4 \text{ Ga}/\text{Al} = 2.6$ 的值接近。在 Whalen 等(1987)的 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{CaO} - \text{Ga}/\text{Al}$ (图 10) 和 Zr - Ga/Al (图 11) 组合分类判别图上, 岩体大部分样品点都落入 A 型花岗岩区域内。

综上所述, 地球化学特征表明, 夏店岩体富硅、碱, 贫钙、镁、铝, 以及亏损不相容元素 Sr、Ba、Ti、P 等特征, 均表明它们具 A 型花岗岩特征。

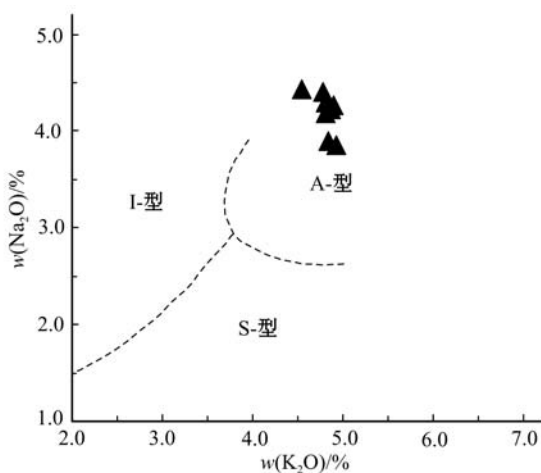


图 9 夏店岩体 $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ 图解(据 Collins 等, 1982)

Fig. 9 $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ plot of Xiandian granite (after Collins *et al.*, 1982)

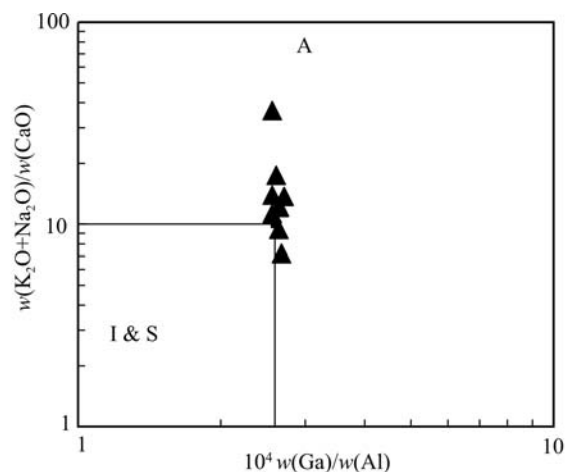


图 10 夏店岩体 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{CaO} - \text{Ga}/\text{Al}$ 图解 (据 Whalen 等, 1987)

Fig. 10 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{CaO} - \text{Ga}/\text{Al}$ of Xiandian granite plot (after Whalen *et al.*, 1987)

4.2 构造背景及地质意义

花岗岩的地球化学特征能够提供构造环境方面信息 (Pearce and Harris, 1984; Forster *et al.*, 1997)。A 型花岗岩的构造环境可以分为两种, 非造山和造山期后环境 (Eby, 1992; 洪大卫等, 1995; 刘昌实等, 2003)。在 A 型花岗岩 $R_1 - Ga/Al$ 亚类划分图解上, 样品点较集中, 均落在 PA 区 (图 12), 即造山后 A 型花岗岩区; 在 $Al_2O_3 - SiO_2$ 图解和 $FeO^T / (FeO^T + MgO) - SiO_2$ 图解上同样落在造山后花岗岩区 (图 13)。许志琴等 (2003) 认为扬子陆块向北俯冲时间发生在 242~200 Ma 的中晚三叠世, 150 Ma 以

后进入折返伸展期, 伴随有大量花岗岩侵位; 笔者获得夏店岩体结晶年龄为 130.0 ± 1.8 Ma, 表明岩体形成于该期岩浆活动, 进一步说明夏店花岗岩形成于后碰撞环境。事实上大陆岩石圈的主碰撞阶段是不利于形成岩浆的, 因而大陆挤压碰撞背景下很少有大量花岗岩的产生; 相反, 大陆岩石圈在最大汇聚期后并逐步转向伸展阶段往往会伴随大量岩浆作用。此外, 从野外特征来看, 岩体呈现不规则近椭圆状, 岩体内部未发生任何变质变形, 也表明它们是主碰撞期后形成。综合以上分析, 笔者认为夏店岩体二长花岗岩形成于造山期后环境。

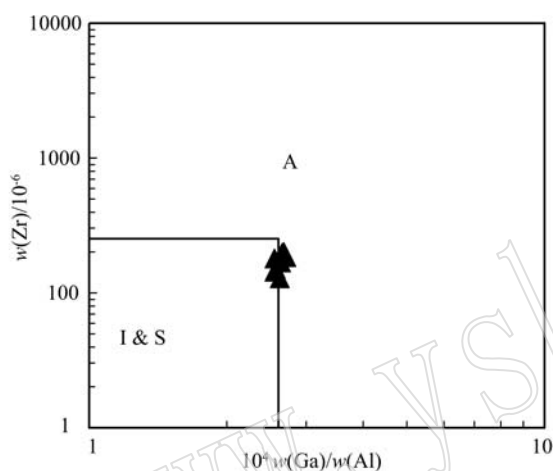


图 11 夏店岩体 Zr-Ga/Al 图解 (据 Whalen 等, 1987)

Fig. 11 Zr-Ga/Al plot of Xiandian granite
(after Whalen *et al.*, 1987)

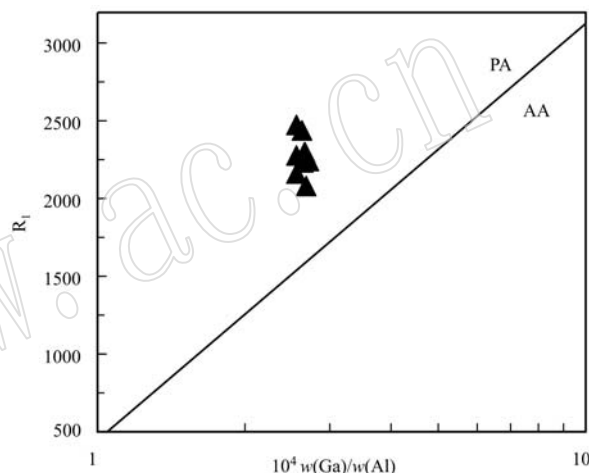


图 12 A 型花岗岩亚类划分图解 (据洪大卫等, 1995)

Fig. 12 Sub-classification of A-type granite
(after Hong Dawei *et al.*, 1995)

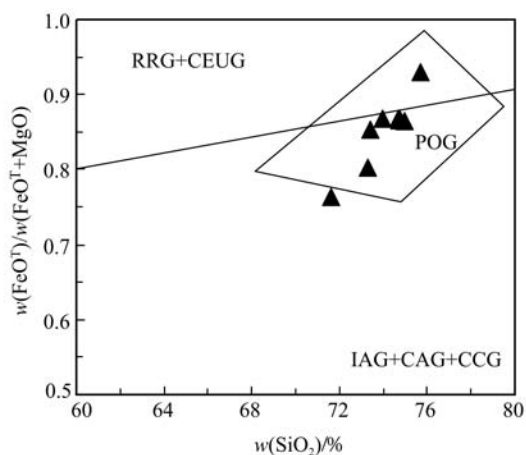
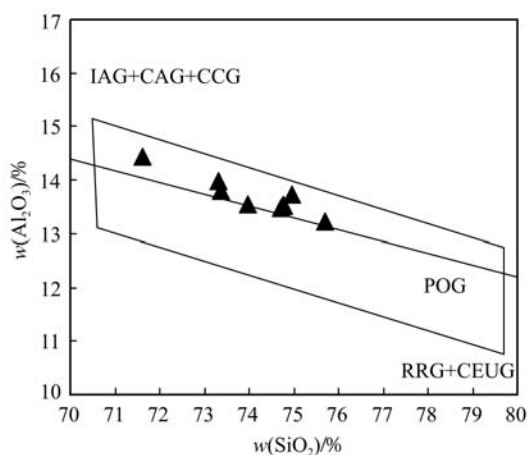


图 13 花岗岩构造环境图解 (据 Maniar 和 Piccoli, 1989)

Fig. 13 Tectonic environment of granite (after Maniar and Piccoli, 1989)

IAG—岛弧花岗岩; CAG—大陆弧花岗岩; CCG—大陆碰撞花岗岩; POG—后造山花岗岩; RRG—与裂谷有关的花岗岩; CEUG—与大陆构造抬升有关的花岗岩

IAG—*island arc granite*; CAG—*continental arc granite*; CCG—*continental collision granite*; POG—*post-orogenic granite*;
RRG—*rift valley-related granite*; CEUG—*continental epirogenic uplift granite*

关于 A 型花岗岩,前人研究一致认为其形成与拉张背景有关(Whalen *et al.*, 1987),A 型花岗岩的出现往往标志着造山运动的结束(洪大卫等, 1995)。结合本文所得夏店岩体结晶年龄为 130.0 ± 1.8 Ma 数据分析,可以认为桐柏-大别造山带早白垩世夏店岩体 A 型花岗岩的出现预示着新的板内演化阶段的到来。

与夏店岩体同期,西大别地区在白垩纪早期发生过一期大规模的岩浆活动,形成了夏店和灵山两个花岗岩岩基以及一系列小的花岗岩岩株,形成时代介于 130~120 Ma 之间(陈江峰等, 1995; Ma Changqian *et al.*, 1998; 周红升等, 2009; 魏国庆等, 2010; 杨梅珍等, 2011; 陈伟等, 2013)。前人研究表明,华南板块于三叠纪(~240 Ma)俯冲进入华北陆块之下形成大陆碰撞造山带(Ames *et al.*, 1993; Zhang *et al.*, 1997; Zheng *et al.*, 2002),深俯冲大陆岩石圈可能在上地幔顶部停滞几十个至上百个百万年后才发生熔融(赵子福等, 2009),直至白垩纪早期 130 Ma 左右,造山带碰撞造山后由挤压向拉张伸展转换,加厚造山带发生拉张垮塌,地幔物质上涌,俯冲的扬子下地壳由于受到地幔物质的加热发生部分熔融,并在拉张伸展的构造背景下侵入下地壳,最终形成西大别地区早白垩世花岗岩。

5 结论

(1) 利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,获得夏店二长花岗岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 130.0 ± 1.8 Ma,代表岩体的结晶年龄,表明夏店岩体为早白垩世岩浆活动的产物。

(2) 地球化学特征表明,夏店二长花岗岩富硅、碱,贫钙、镁、铝;轻稀土元素富集,重稀土元素亏损,轻重稀土元素分馏明显, Eu 亏损明显; Rb、K、Th 等大离子亲石元素和 Pb 元素富集, Ta、Nb、Ti 等高场强元素亏损和 Sr、Ba 元素亏损;岩石成因类型上属于 A 型花岗岩。

(3) 夏店二长花岗岩成于造山期后环境,其出现预示着桐柏-大别造山带板内演化阶段的到来。

致谢 LA-ICP-MS U-Pb 数据测试得到中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室相关工作人员的帮助,野外工作中得到湖北省地质调查院胡正祥教授级高工、吴传荣教授级高工、江麟

生教授级高工等现场指导,室内岩矿鉴定得到湖北省地质调查院邱玲教授级高工指导,审稿专家对论文提出了宝贵的建设性的修改意见,在此一并表示感谢。

References

- Ame L, Tilton G R and Zhou Gaozhi. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites[J]. *Geology*, 21: 339~342.
- Andersen T. 2002. Correlation of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.
- Chen Jiangfeng, Xie Zhi, Liu Shunsheng, *et al.* 1995. The determination of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and fission track age for the Dabie orogenic [J]. *Chinese Science (Series D)*, 25(10): 1086~1092(in Chinese with English abstract).
- Chen Ling, Ma Changqian, Zhang Jinyang, *et al.* 2012. The first geological map of intrusive rocks in Dabie orogenic belt and its adjacent areas and its explanatory notes. [J]. *Geological Bulletin of China*, 31(1): 13~19(in Chinese with English abstract).
- Chen Wei, Xu Zhaowen, Li Hongchao, *et al.* 2013. Petrogenesis and Origin of the Xinxian Granitic batholith in Henan Province and Its Implication for the Tectonic Evolution of the Western Dabie Area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(10): 1510~1524(in Chinese with English abstract).
- Collins W J, Besms S D, White A J, *et al.* 1982. Nature and origin of A-type granite with particular reference to South eastern Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 189~200.
- Cong Bailin. 1996. Super-high Pressure Metamorphic Rocks in Dabie-Sulu Orogenic Belt[M]. Beijing: Science Press, 1~285(in Chinese with English abstract).
- Forster H J, Tischendorf G and Trumbull R B. 1997. An evaluation of the Rb vs (Y + Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks[J]. *Lithos*, 40: 261~293.
- Hacker B R, Ratschbacher L W, Webb L, *et al.* 1998. U-Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qingling-Dabie orogen, China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 161: 215~230.
- Hacker B R, Wang X and Eide E A. 1996. The Qingling-Dabie ultrahigh-pressure collisional orogeny[A]. Yin A and Harris T M[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 345~370.
- Hong Dawei, Wang Shiguang and Han Baofu. 1995. Tectonic environment classification and identification indication of alkaline granites

- [J]. Chinese Science (Series B), 25(4): 418~426 (in Chinese with English abstract).
- Jia Xiaohui, Wang Qiang and Tang Gongjian. 2009. A-type granites: Research progress and implications[J]. Geotectonica et Metallogenia, 33(3): 465~480 (in Chinese with English abstract).
- King P L, White A J R, Chappell B W, *et al.* 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan fold belt, South eastern Australia[J]. J. Petrol., 38: 371~391.
- Li Shi and Wang Tong. 1991. Geochemistry of Granite in Dabie Mountain[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~208 (in Chinese).
- Li Shuguang. 2004. Exhumation mechanism of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie mountains and continental collision process between the North and South China blocks[J]. Earth Science Frontiers, 11(3): 63~70 (in Chinese with English abstract).
- Liu Changshi, Chen Xiaoming, Chen Peirong, *et al.* 2003. Subdivision, discrimination criteria and genesis for a type rock suites[J]. Geological Journal of China Universities, 9(4): 573~591 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaochun, Jahn B M, Liu Dunyi, *et al.* 2004. HRIMP U-Pb zircon dating of a metagabbro and eclogites from western Dabieeshan (Hong and Block), China, and its tectonic implications[J]. Tectonophysics, 394: 171~192.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, No. 4a.
- Ma Changqian, Li Zhichang, Ehlers C, *et al.* 1998. A postcollisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east-central zone, east-central China[J]. Lithos, 45: 431~456.
- Ma Changqian, Yang Kunguang, Ming Houli, *et al.* 2003. The time from shift to extrusion of Mesozoic crust of Dabie: Evidence from granite[J]. Chinese Science (Series D), 33(9): 817~827 (in Chinese with English abstract).
- Ma Changqian, Yang Kunguang, Xu Changhai, *et al.* 1999. Mesozoic potassic magmatism in the Dabie Mountains: Implication for exhumation mechanism of ultrahigh-pressure metamorphic terranes[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(3): 379~395 (in Chinese with English abstract).
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 101(5): 635~643.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrology, 4(25): 956~983.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle complication and processes[J]. Geological Society of London, Special Publications, 42: 313~345.
- Wei Qingguo, Gao Xinyu, Zhao Taiping, *et al.* 2010. Petrogenesis of Tangjiaping granite porphyry in northern Dabie: Evidence from Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(5): 1550~1562 (in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib. Mineral. Petrol., (95): 407~419.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, *et al.* 2007. Discussions on the petrogenesis of granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1217~1238 (in Chinese with English abstract).
- Wu Suoping, Wang Meiyong and Qi Kaijing. 2007. Present situation of researches on A-type granites: A review[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(1): 57~66 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constrain on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 15(49): 1554~1569.
- Xu Haijin, Ye Kai and Ma Changqian. 2008. Early Cretaceous granitoids in the North Dabie and their tectonic implications: Sr-Nd and zircon Hf isotopic evidences[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(1): 87~103 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Zhang Zeming and Liu Fulai. 2003. Exhumation structure and mechanism of the Sulu ultrahigh-pressure metamorphic belt, central China[J]. Acta Geologica Sinica, 77(4): 433~450 (in Chinese with English abstract).
- Yang Meizhen, Zeng Jiannian, Li Faling, *et al.* 2011. Geochemistry of mineralization and granitic magmatism of Dayinjian Mo deposit, Xinxian County, Henan Province and its geological significance[J]. Acta Geoscientia Sinica, 32(3): 279~292 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. U-Pb dating and REE composition analysis of zircon laser probe for Cenozoic intrusion in North-east area, China[J]. Chinese Science Bulletin, 48(14): 1511~1520.
- Zhang Kaijun. 1997. North and South China collision along the eastern and southern North China margins[J]. Tectonophysics, 270: 145~156.
- Zhang Qi, Ran Hao and Li Chengdong. 2012. A-type granite: What is the essence? [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 31(4): 621~626 (in Chinese with English abstract).

- Zhao Zifu and Zheng Yongfei. 2009. Subduction continental lithosphere remelting: Genesis of Mesozoic magmatite in the Dabie-Sulu orogenic belt[J]. Chinese Science (Series D): Earth Science, 39(7): 888~909(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yongfei. 2008. Study on UHP metamorphism and continental collision: A case study of Dabie-Sulu Orogenic Belt[J]. Chinese Science Bulletin, 53(18): 2 129~2 152(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yongfei, Wang Zhengrong, Li Shuguang, *et al.* 2002. Oxygen isotope equilibrium between eclogite minerals and its constraints on mineral Sm-Nd chronometer[J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 66: 625~634.
- Zhou Hongsheng, Su Hua and Ma Changqian. 2009. Formation age, tectonic setting and ascertainment of A-type granite on the Linshan pluton in Dabie Orogenic Belt[J]. Journal of Xingyang Normal University(Natural Science Edition), 22(2): 222~226(in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianxiong and Chen Zhenyu. 2007. Study on Zircon Cathodoluminescence of Electron Probe[M]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology Press, 15~39(in Chinese).
- 陈江峰, 谢智, 刘顺生, 等. 1995. 大别造山带冷却年龄的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 和裂变径迹年龄测定[J]. 中国科学(D辑), 25(10): 1 086~1 092.
- 陈玲, 马昌前, 张金阳, 等. 2012. 首编大别造山带侵入岩地质图(1:50 万)及其说明[J]. 地质通报, 31(1): 13~19.
- 陈伟, 徐兆文, 李红超, 等. 2013. 河南新县花岗岩岩基的岩石成因、来源及对西大别构造演化的启示[J]. 地质学报, 87(10): 1 510~1 524.
- 从柏林. 1996. 大别-苏鲁造山带超高压变质岩[M]. 北京: 科学出版社, 1~285.
- 洪大卫, 王式洸, 韩宝福. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. 中国科学(B辑), 25(4): 418~426.
- 贾小辉, 王强, 唐功建. 2009. A型花岗岩的研究进展及意义[J]. 大地构造与成矿学, 33(3): 465~480.
- 李石, 王彤. 1991. 桐柏山-大别山花岗岩地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~208.
- 李曙光. 2004. 大别山超高压变质岩折返机制与华北-华南陆块碰撞过程[J]. 地学前缘, 11(3): 63~70.
- 刘昌实, 陈小明, 陈培荣, 等. 2003. A型岩套的分类、判别标志和成因[J]. 高校地质学报, 9(4): 573~591.
- 马昌前, 杨坤光, 明厚利, 等. 2003. 大别山中生代地壳从挤压转向伸展的时间: 花岗岩的证据[J]. 中国科学D辑, 33(9): 817~827.
- 马昌前, 杨坤光, 许长海, 等. 1999. 大别山中生代钾质岩浆作用与超高压变质地体的剥露机理[J]. 岩石学报, 15(3): 379~395.
- 魏庆国, 高昕宇, 赵太平, 等. 2010. 大别北麓汤家坪花岗斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年和岩石地球化学特征及其对岩石成因的制约[J]. 岩石学报, 26(5): 1 550~1 562.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 23(6): 1 217~1 238.
- 吴锁平, 王梅英, 戚开静. 2007. A型花岗岩研究现状及其述评[J]. 岩石矿物学杂志, 26(1): 57~66.
- 许志琴, 张泽明, 刘福来, 等. 2003. 苏鲁高压-超高压变质带的折返构造及折返机制[J]. 地质学报, 77(4): 433~450.
- 续海金, 叶凯, 马昌前. 2008. 北大别早白垩纪花岗岩类的 Sm-Nd 和锆石 Hf 同位素及其构造意义[J]. 岩石学报, 24(1): 87~103.
- 杨梅珍, 曾键年, 李法岭, 等. 2011. 河南新县大银尖钼矿床成岩成矿作用地球化学及地质意义[J]. 地球化学, 32(3): 279~292.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 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, 48(14): 1 511~1 520.
- 张旗, 冉隰, 李承东. 2012. A型花岗岩的实质是什么? [J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 621~626.
- 赵子福, 郑永飞. 2009. 俯冲大陆岩石圈重熔: 大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩成因[J]. 科学通报(D辑): 地球科学, 39(7): 888~909.
- 郑永飞. 2008. 超高压变质与大陆碰撞研究: 以大别-苏鲁造山带为例[J]. 科学通报, 53(18): 2 129~2 152.
- 周红升, 苏华, 马昌前. 2009. 灵山岩体形成的时代、构造环境及其 A 型花岗岩的厘定[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 22(2): 222~226.
- 周剑雄, 陈振宇. 2007. 电子探针下锆石阴极发光的研究[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 15~39.

附中文参考文献