

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2025.01.011

豫西曹家窑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年 及地质意义

徐书奎^{1,2}

(1. 河南省第一地质大队有限公司, 郑州 450000;
2. 河南省有色金属综合勘查工程技术研究中心, 郑州 450000)

摘要: 崤山与其毗邻的小秦岭、熊耳山同属华北陆块南缘,是豫西金银多金属矿的重要成矿区和找矿潜力区。崤山区内大面积出露新太古代中酸性侵入岩体,这些岩体的形成时代、地球化学特征等仍未得到深入的研究和探讨。文章对崤山中部曹家窑二长花岗岩体开展锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年,显示曹家窑二长花岗岩体锆石 U-Pb 年龄为 $2444 \text{ Ma} \pm 31 \text{ Ma}$,地球化学特征显示其测点数据落入 I-型花岗岩系列和埃达克岩区,富集轻稀土,亏损重稀土,轻重稀土分馏明显, $\omega(\text{La})_{\text{N}}/\omega(\text{Yb})_{\text{N}}=3.82 \sim 30.83$, $\omega(\text{Y})=10.2 \times 10^{-6} \sim 11.7 \times 10^{-6}$,岩石稀土配分曲线右倾。综合分析认为,曹家窑二长花岗岩具埃达克岩属性,属高钾钙碱性同融型花岗岩(I型),是新太古代地壳增厚的产物。

关键词: 曹家窑岩体;锆石 U-Pb 定年;崤山;豫西

中图分类号: P588.121;P597 **文献标识码:** A

0 引言

豫西地区包括小秦岭、熊耳山、崤山等,是我国重要的多金属成矿区^[1-2]。近年来,与成矿密切相关的燕山期酸性侵入岩引起地质学界的广泛关注^[3-9]。前人曾对崤山地区涧里河口奥长花岗岩^[10]、张家河蚀变二长花岗岩^[11]等新太古代晚期中酸性侵入岩体做了研究,但相较于新太古代中酸性侵入岩作为崤山变质核杂岩体核部的主要组成部分及区域成矿的重要载体^[2,12],对新太古代晚期中酸性侵入岩体的整体研究程度仍然偏低,这些古老侵入岩系作为崤山结晶基底的主要组成部分^[13],可能为研究崤山

地区构造环境和区域成矿提供重要的地质线索。

本文论述崤山中东部大面积出露的新太古代曹家窑二长花岗岩体的地球化学特征,进行锆石 U-Pb 定年,并探讨该岩体的成岩时代和构造环境。

1 区域地质特征

曹家窑二长花岗岩体所处大地构造位置为华北地台南缘与北秦岭造山带衔接过渡带^[2]。按照伸展构造理论,曹家窑二长花岗岩体所处的崤山地区为典型的变质核杂岩构造^[14],其核部为太华岩群变质基底,主要由变质表壳岩系和变质花岗岩系构成。变质表壳岩系主要为杨寺沟组变粒岩(Ar_2y)和兰树沟组片岩(Ar_2l),变质花岗岩系由蚂蚁沟片麻状石英闪长岩($\text{Ar}_2\text{M}\delta\text{o}$)、涧里河片麻

收稿日期: 2024-06-15; 改回日期: 2024-12-13; 责任编辑: 沈名星

基金项目: 河南省有色金属地质矿产局 2018 年重点项目(豫色地矿办[2018]30 号)与河南省有色金属地质矿产局首批科技创新专项资金(揭榜挂帅)项目(豫色地矿文[2021]62 号)共同资助。

作者简介: 徐书奎(1986—),男,高级工程师,主要从事豫西地区矿产勘查与成矿学研究。通信地址:河南省郑州市经开区第八大街 166 号。邮政编码:450000。E-mail:xsk623@163.com

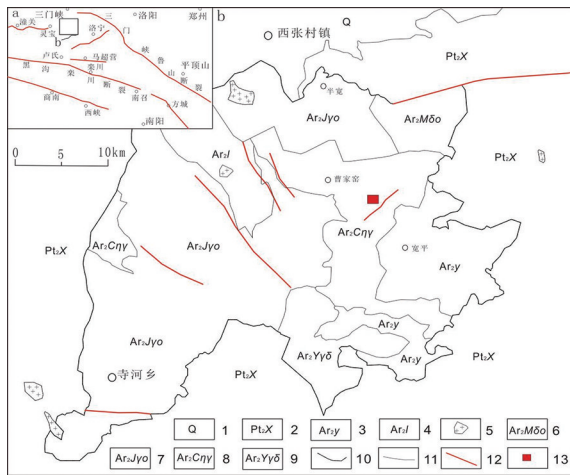


图1 嶠山地区区域地质简图

Fig. 1 Regional geological sketch of Xiaoshan area

1. 新生界第四系; 2. 中元古界熊耳群火山岩系;
3. 太华岩群杨寺沟组变粒岩; 4. 太华岩群兰树沟组片岩;
5. 燕山期中酸性小岩株; 6. 新太古代蚂蚁沟片麻状石英闪长岩;
7. 新太古代洞里河片麻状奥长花岗岩;
8. 新太古代曹家窑片麻状二长花岗岩;
9. 新太古代野乔河片麻状花岗闪长岩; 10. 拆离断层;
11. 地质界线; 12. 断裂带; 13. 样品采样位置

状奥长花岗岩 ($Ar_2J\gamma_0$)、曹家窑片麻状二长花岗岩 ($Ar_2C\eta\gamma$) 和野乔河片麻状花岗闪长岩 ($Ar_2Y\gamma\delta$) 组成, 周缘为拆离断层, 盖层为中元古界熊耳群火山岩系和新生界第四系。嶠山地区岩浆活动频繁, 主要为新太古代、中元古代的岩浆侵入活动, 燕山期岩浆活动相对较弱, 仅见有零星燕山期中酸性小岩株出露。

曹家窑二长花岗岩主要位于嶠山地区中东部, 出露面积约 40 km^2 , 与四周的变质表壳岩系和其余变质花岗岩系侵入接触, 西部小范围被中元古界熊耳群火山岩系不整合覆盖(图1)。

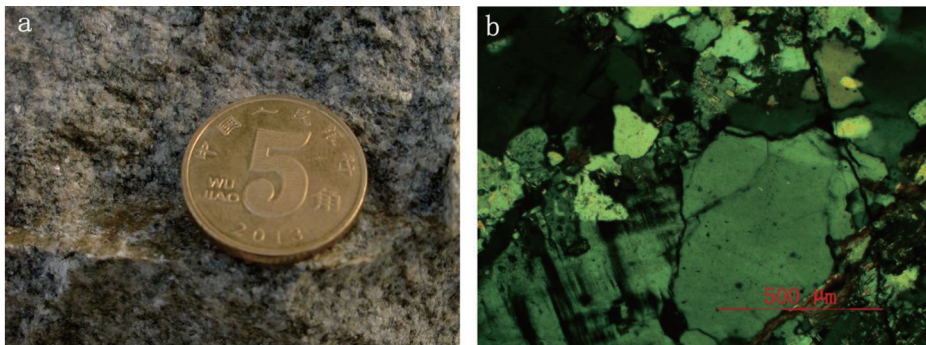


图2 曹家窑二长花岗岩岩石标本(a)及显微照片(b)

Fig. 2 Photo and microscopic photo of samples from Caojiayao monzonitic granite

2 锆石 U-Pb 定年

2.1 样品特征

曹家窑二长花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年样品采集于曹家窑二长花岗岩体中部(图1), 岩性为细粒黑云母二长花岗岩(图2), 浅肉红色、浅灰色, 细粒花岗结构, 块状构造、似片麻状构造。

岩石主要矿物为钾长石(40%)、斜长石(30%~35%)和石英(20%~25%), 次要矿物为黑云母(4%~6%), 副矿物主要为锆石、磷灰石和金属矿物, 次生矿物主要为绿泥石和绢云母。钾长石呈它形粒状, 粒径 $0.05 \sim 1.2 \text{ mm}$, 格子状双晶较发育, 无蚀变。斜长石呈它形粒状, 粒径 $0.05 \sim 1.0 \text{ mm}$, 聚片双晶较发育, 被绢云母交代。石英呈它形粒状, 粒径 $0.05 \sim 0.6 \text{ mm}$, 具波状消光, 条带状定向分布。黑云母呈鳞片状, 粒径 $0.05 \sim 0.4 \text{ mm}$, 多数被绿泥石交代, 定向排列。

锆石单矿物分选工作由廊坊市诚信地质服务有限公司完成, 岩石样品经颚式碎样机破碎至 40 目后, 用人工淘洗方法进行粗淘, 分离出灰色重砂和尾砂, 对灰色重砂部分在强磁环境下去除强磁性矿物, 对非强磁部分进一步用电磁选仪进行分选以去除电磁性矿物, 分选出无磁性重矿物样品, 用高频介电仪提纯分离出锆石, 最后在双目镜下进行人工精选提纯。样品 CBY01 分选出的锆石大于 200 粒, CL 图像显示呈长柱状, 自形、半自形, 锆石长轴粒径以 $100 \sim 150 \mu\text{m}$ 为主, 短轴粒径以 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 为主, 长宽比位于 $1.5 : 1 \sim 3 : 1$ 之间, 具有清楚的震荡环带, 显示出岩浆锆石特征。

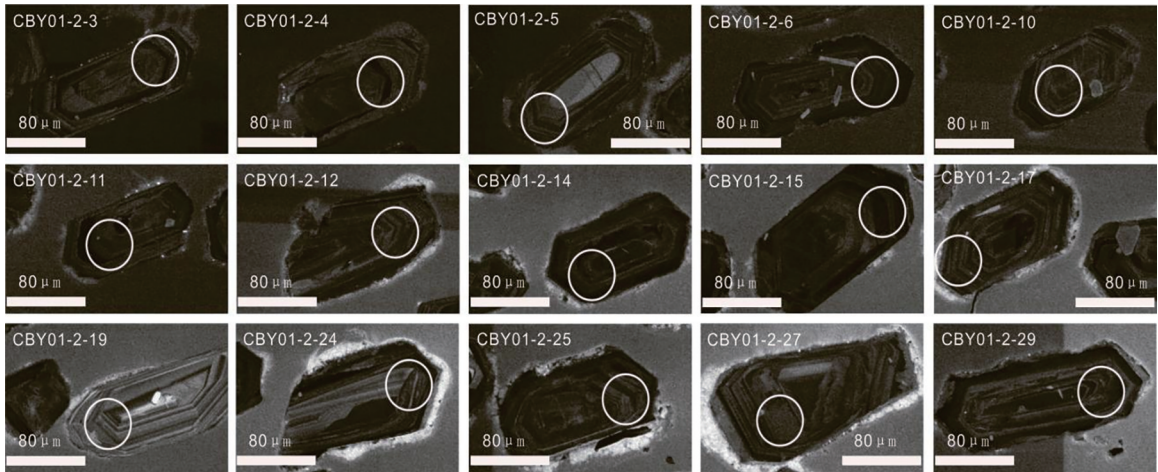


图 3 曹家窑二长花岗岩样品代表性锆石 CL 图像

Fig. 3 Representative zircon CL image of sample from Caojiayao monzonitic granite

2.2 分析方法

将挑选的锆石粘贴在环氧树脂靶上,抛光使其曝露一半的晶面。对所有锆石颗粒进行反射光和透射光观察及阴极发光(CL)分析,查明锆石内部结构特征,选定测试点位。

LA-ICP-MS 锆石定年工作由中国冶金地质总局山东局测试中心完成,实验室洁净度 <1000 级,温度 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$,湿度 $40\%\sim 45\%$,主检设备为 ICAP Q 电感耦合等离子体质谱仪(YQ108)和激光烧蚀 Compex Pro ArF Geolas(YQ061),成分标定标样 Nist 610,同位素比值标样 91500,数据处理软件采用 ICP MS DATA CAL,加权平均年龄的计算和 U-Pb 协和图的绘制采用 Isoplot 3.0 软件完成^[15]。

2.3 定年结果

对曹家窑二长花岗岩 30 个锆石测点进行分析(表 1),30 个测点 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄范围 $1836\text{ Ma}\sim 2834\text{ Ma}$, $w(\text{Th})/w(\text{U})=0.14\sim 1.96$ 。其中,21 个测点测定值位于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和线上(图 4a),21 个测点 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 加权平均年龄($2444\text{ Ma}\pm 31\text{ Ma}$,MSWD=3.2(图 4b)。结合样品的 CL 图像特征, $2444\text{ Ma}\pm 31\text{ Ma}$ 可以解释为曹家窑二长花岗岩体同源岩浆锆石的结晶年龄。

3 地球化学特征

3.1 主量元素特征

对曹家窑二长花岗岩采集了 5 件样品进行主量元素分析,分析结果见表 2。曹家窑二长花岗岩石

中 $w(\text{SiO}_2)=66.6\%\sim 76.92\%$,平均值 72.80% ,铁镁质组分 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})=0.59\%\sim 2.04\%$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=13.43\%\sim 19.2\%$,平均值 15.2% , $w(\text{K}_2\text{O})=3.42\%\sim 4.99\%$,平均值 4.10% , $w(\text{Na}_2\text{O})=3.47\%\sim 5.95\%$,平均值 4.11% 。

3.2 微量元素特征

对曹家窑二长花岗岩采集 3 件样品进行微量元素分析(表 3),显示岩体 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})=6.32\sim 18.38$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}=3.82\sim 30.83$,稀土配分模式呈现右倾、轻稀土富集、重稀土亏损特征(图 5a)。同时,岩体富集大离子亲石元素 Rb、Ba、Th、U,相对亏损 Nb、Sr、Ti 等高强度元素,在微量元素蛛网图上显示明显的 Ti 负异常特征(图 5b)。

4 地质意义

曹家窑二长花岗岩中 SiO_2 含量与典型 TTG 岩系含量($62\%\sim 74\%$)接近,铁镁质组分含量也位于典型 TTG 岩系($<3.4\%$)范围。在 $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 图解(图 6a)中,5 件样品投点中 4 件样品投点落入花岗岩区(6 区),1 件样品投点落入石英二长岩区(11 区)。在 $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ 图解(图 6b)中,5 件样品投点中 4 件样品投点落入钙碱性系列,1 件样品投点落入高钾玄武岩系列。在 $w(\text{Yb})_{\text{N}}-w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 构造环境判别图中(图 7a),3 件样品投点均落入埃达克岩区。在 A 型与 I 型花岗岩 $w(\text{Ce})-w(\text{SiO}_2)$ 判别图上(图 7b),3 件样品投点均落入 I 型花岗岩区。

表1 曹家窑二长花岗岩岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of Caojiayao monzonitic granite

测点	$w(\text{Pb})$	$w(\text{Th})$	$w(\text{U})$	$w(\text{Th})/$ $w(\text{U})$	$^{207}\text{Pb}/$ $^{206}\text{Pb}(1\sigma)$	$^{207}\text{Pb}/$ $^{235}\text{U}(1\sigma)$	$^{206}\text{Pb}/$ $^{238}\text{U}(1\sigma)$	年龄(1 σ)/Ma		
								$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
CBY01-2-1	351	290	599	0.48	0.2226(84)	13.0435(5089)	0.4226(53)	3000(60)	2683(36)	2272(24)
CBY01-2-2	856	952	1545	0.62	0.2077(73)	11.1477(4064)	0.3872(46)	2887(57)	2536(34)	2110(21)
CBY01-2-3	595	459	1668	0.28	0.1965(66)	7.2659(2545)	0.2662(35)	2797(54)	2145(31)	1521(18)
CBY01-2-4	894	2235	1142	1.96	0.1965(66)	15.2958(5641)	0.5535(127)	2821(51)	2834(35)	2840(52)
CBY01-2-5	192	75.8	330	0.23	0.2171(65)	13.4418(4405)	0.4452(76)	2959(48)	2711(31)	2374(33)
CBY01-2-6	993	739	2057	0.36	0.1848(53)	9.5316(2849)	0.37(55)	2698(46)	2391(27)	2029(26)
CBY01-2-7	611	482	1077	0.45	0.1793(5)	10.6(2943)	0.4241(60)	2647(46)	2489(25)	2279(27)
CBY01-2-8	451	411	672	0.61	0.18(51)	12.5674(3513)	0.5002(76)	2654(46)	2648(26)	2615(32)
CBY01-2-9	519	990	1182	0.84	0.1637(49)	6.9552(2206)	0.3035(63)	2494(50)	2106(28)	1708(31)
CBY01-2-10	890	2164	2041	1.06	0.1608(52)	6.3789(2058)	0.2826(57)	2465(54)	2029(28)	1605(28)
CBY01-2-11	1018	3040	2144	1.42	0.1609(53)	6.6255(2162)	0.2923(57)	2465(55)	2063(28)	1653(28)
CBY01-2-12	371	370	796	0.46	0.1522(46)	7.5595(2144)	0.353(55)	2372(50)	2180(25)	1949(26)
CBY01-2-13	521	329	823	0.4	0.1605(44)	11.0131(2865)	0.4883(72)	2461(46)	2524(24)	2563(31)
CBY01-2-14	418	302	658	0.46	0.1625(41)	10.9815(2836)	0.4813(78)	2483(42)	2522(24)	2533(33)
CBY01-2-15	1262	1210	1519	0.8	0.1549(37)	9.7083(2721)	0.4466(90)	2401(40)	2407(25)	2380(40)
CBY01-2-16	459	477	1024	0.47	0.1491(34)	7.2169(167)	0.3453(46)	2336(37)	2139(20)	1912(22)
CBY01-2-17	766	1193	1391	0.86	0.1563(34)	8.6318(1909)	0.3947(49)	2417(32)	2300(20)	2145(22)
CBY01-2-18	826	628	1431	0.44	0.1571(35)	9.6885(2200)	0.4412(55)	2425(38)	2406(20)	2356(24)
CBY01-2-19	129	112	180	0.62	0.1814(44)	13.2781(3221)	0.5256(77)	2666(39)	2700(22)	2723(32)
CBY01-2-20	524	971	1161	0.84	0.1560(40)	6.949(1780)	0.3198(44)	2412(43)	2105(22)	1789(21)
CBY01-2-21	718	1008	1631	0.62	0.1554(40)	6.9014(1934)	0.3192(58)	2406(44)	2099(24)	1786(28)
CBY01-2-22	136	101	193	0.52	0.1634(40)	12.1562(3091)	0.5351(85)	2492(40)	2617(3)	2763(35)
CBY01-2-23	244	161	377	0.43	0.1625(36)	11.4496(2638)	0.5054(67)	2481(36)	2560(21)	2637(28)
CBY01-2-24	123	81.8	193	0.42	0.1660(36)	11.1485(2449)	0.4818(60)	2518(36)	2536(20)	2535(26)
CBY01-2-25	398	253	683	0.37	0.1620(33)	10.0407(2204)	0.4444(63)	2476(33)	2439(20)	2370(28)
CBY01-2-26	974	311	2183	0.14	0.1536(28)	7.437(1412)	0.3462(38)	2387(30)	2165(17)	1916(18)
CBY01-2-27	577	576	1702	0.34	0.1460(27)	5.0998(1134)	0.2492(39)	2302(31)	1836(18)	1435(20)
CBY01-2-28	554	262	836	0.31	0.1665(31)	11.362(2136)	0.4875(57)	2524(31)	2553(17)	2560(24)
CBY01-2-29	174	138	267	0.52	0.1662(36)	10.9627(2339)	0.4715(65)	2520(35)	2520(19)	2490(28)
CBY01-2-30	424	284	626	0.45	0.1664(33)	11.1214(2193)	0.4766(53)	2522(33)	2533(18)	2513(23)

量单位: $w_B/10^{-6}$ 。

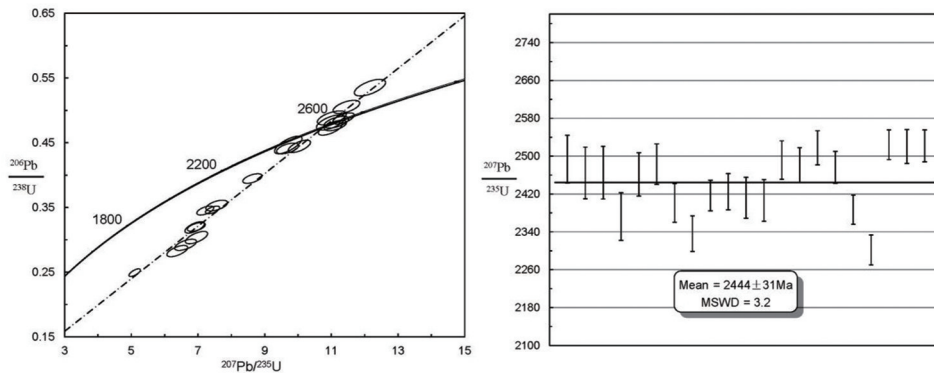


图4 曹家窑二长花岗岩岩体锆石 U-Pb 定年结果

Fig. 4 U-Pb dating ages of Caojiayao monzonitic granite

表 2 曹家窑二长花岗岩体主量元素分析结果

Table 2 Major element analysis of Caojiayao monzonitic granite

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	MnO	P ₂ O ₅	烧蚀	总量
ZL-14	73.53	0.19	14.64	1.44	1.48	3.78	3.47	0.49	0.03	0.07	0.8	99.92
ZL-21	74.54	0.2	13.68	1.56	1.61	3.42	3.61	0.48	0.03	0.07	0.7	99.9
ZL-22	72.43	0.21	15.05	1.36	1.2	3.73	3.94	0.53	0.02	0.08	0.75	99.3
ZL-23	76.92	0.06	13.43	0.44	0.64	4.6	3.58	0.15	0.01	0.02	0.49	100.34
ZL-24	66.6	0.09	19.2	0.71	1.17	4.99	5.95	0.29	0.02	0.03	0.69	99.74

注:量单位:w_p/%;数据由河南省有色金属地质矿产局第一地质大队化验室测定。

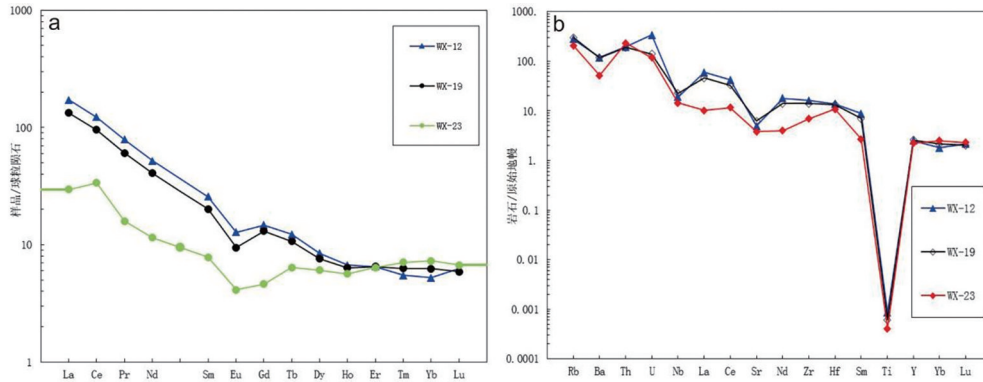


图 5 曹家窑二长花岗岩稀土元素配分模式图(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig.5 REE pattern (a) and trace element spider diagram (b)of the granite

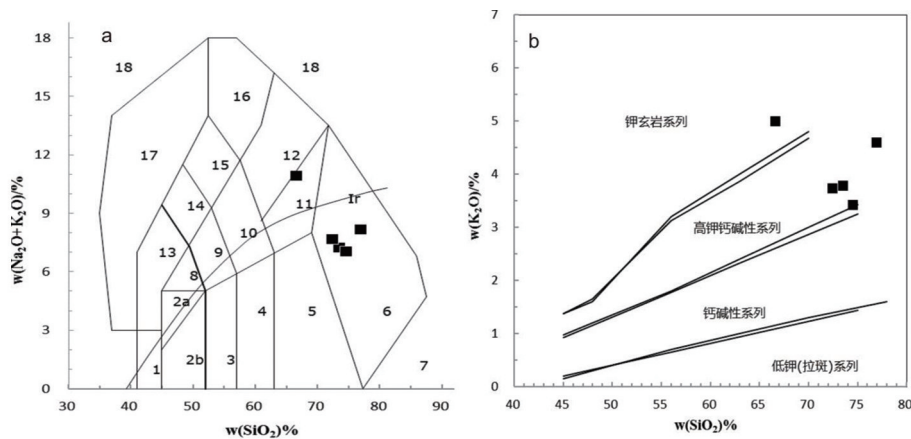


图 6 曹家窑二长花岗岩 SiO₂-(Na₂O+K₂O)(a)和 SiO₂-K₂O(b)图解

Fig.6 Plot of SiO₂-(Na₂O+K₂O) (a) and SiO₂-K₂O (b) of the granite

1. 橄榄辉长岩; 2a. 碱性辉长岩; 2b. 亚碱性辉长岩; 3. 辉长闪长岩; 4. 闪长岩; 5. 花岗闪长岩;
6. 花岗岩; 7. 石英岩; 8. 二长辉长岩; 9. 二长闪长岩; 10. 二长岩; 11. 石英二长岩;
12. 正长岩; 13. 副长石辉长岩; 14. 副长石二长闪长岩; 15. 副长石二长正长岩;
16. 副长正长岩; 17. 副长深成岩; 18. 宽方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩; Ir. 分界线, 上方为碱性, 下方为亚碱性

表 3 曹家窑二长花岗岩体微量元素分析结果

Table 3 Trace element analysis of Caojiayao monzonitic granite

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
WX-12	40.7	75.1	7.51	24.2	3.93	0.74	3.02	0.46	2.15	0.38	1.08
WX-19	31.6	58.4	5.76	19	3.09	0.55	2.69	0.4	1.93	0.36	1.08
WX-23	7.02	20.7	1.51	5.38	1.2	0.24	0.95	0.24	1.54	0.32	1.06

续表 3

样号	Tm	Yb	Lu	Y	$w(\Sigma\text{REE})$	$w(\text{LREE})$	$w(\text{HREE})$	$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	$w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$	δEu	δCe
WX-12	0.14	0.89	0.16	11.4	160.46	152.18	8.28	18.38	30.83	0.66	1.03
WX-19	0.16	1.06	0.15	11.7	126.23	118.40	7.83	15.12	20.10	0.58	1.04
WX-23	0.18	1.24	0.17	10.2	41.75	36.05	5.70	6.32	3.82	0.69	1.53

注:量单位: $w_B/10^{-6}$;数据由河南省有色金属地质矿产局第一地质大队化验室测定。

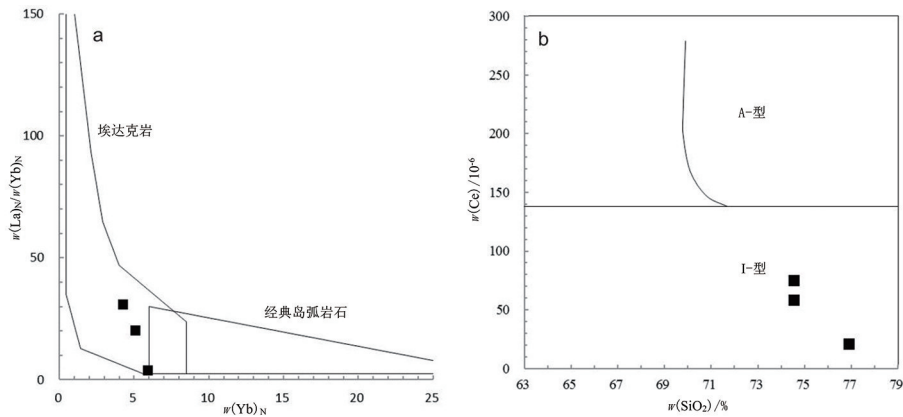


图7 曹家窑二长花岗岩 $w(\text{Yb})_N-w(\text{La})_N/w(\text{Yn})_N$ 构造环境判别图(a)和
A型与I型花岗岩 $w(\text{Ce})-w(\text{SiO}_2)$ 判别图(b)

Fig. 7 $w(\text{Yb})_N-w(\text{La})_N/w(\text{Yn})_N$ geotectonic environment discrimination diagram of the granite (a)
and $w(\text{Ce})-w(\text{SiO}_2)$ discrimination diagram of A-type and I-type granite (b)

同时,曹家窑二长花岗岩呈现轻稀土富集、重稀土亏损特征,轻重稀土分馏明显, $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N=3.82\sim 30.83,>1,w(\text{Y})=10.2\times 10^{-6}\sim 11.7\times 10^{-6}$,岩石稀土配分曲线右倾,显示曹家窑二长花岗岩的稀土元素特征与同融型花岗岩(I型)相似。

太华岩群是华北克拉通南缘地壳的重要组成部分,在崤山地区新太古代侵入岩系占太华岩群变质基底的85%^[13]。本次研究测得曹家窑二长花岗岩的锆石U-Pb年龄为2444 Ma \pm 31 Ma,与前人在崤山北部涧里水库大坝下测得变质TTG岩系的奥长花岗岩中获取的锆石U-Pb年龄2451 Ma \pm 5 Ma^[10]以及在崤山西部张家河水库周缘测得变质TTG岩系的蚀变二长花岗岩获取的锆石U-Pb年龄2500 Ma \pm 17 Ma^[11]较为相近,表明曹家窑二长花岗岩与崤山地区变质TTG岩系为同一构造背景产物,其形成时代确定为新太古代晚期。

太古宙的地壳运动是以裂谷和下陷作用为主的垂直增长模式^[13],根据对曹家窑二长花岗岩地球化学特征的研究,曹家窑二长花岗岩体具有埃达克岩属性,属高钾钙碱性同融型花岗岩(I型),应是壳源岩浆与幔源岩浆混合作用环境下形成的,是新太古

代地壳增厚的产物。

5 结论

- (1) 曹家窑二长花岗岩体锆石U-Pb年龄为2444 Ma \pm 31 Ma,形成于新太古代晚期。
- (2) 曹家窑二长花岗岩体具有埃达克岩属性,属高钾钙碱性同融型花岗岩(I型),应是新太古代地壳增厚的产物。

参考文献:

- [1] 石铨曾,秦国群,李明立,等. 豫西后造山阶段的剥离伸展构造与金矿化[J]. 河南地质,1993(1):28-36+81.
- [2] 王志光,崔毫,徐孟罗,等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京:冶金出版社,1997,135-256.
- [3] 卢欣祥. 河南省秦岭-大别山地区燕山期中酸性小岩体的基本地质特征及成矿专属性[J]. 河南地质,1983,1(1):49-55.
- [4] 陈铁华,赵保军,张天义,等. 崤山地区隐伏花岗岩体及其找金前景[J]. 河南地质,1997(1):12-19.
- [5] 邱庆伦,燕长海,陈瑞保,等. 小秦岭-熊耳山地区燕山期大规模成矿的地球动力学背景[J]. 地质找矿论丛,2008,23(4):281-286.
- [6] 李磊,孙卫志,孟宪锋,等. 华北陆块南缘崤山地区燕山期花岗

- 岩类地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2636 - 2648.
- [7] 卢仁, 梁涛, 卢欣祥, 等. 豫西崤山后河岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(4): 263 - 270.
- [8] 卢仁, 梁涛, 卢欣祥, 等. 豫西崤山龙卧沟岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 756 - 768.
- [9] 徐书奎, 王秀全, 刘新艳. 豫西崤山赵家古洞岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 矿产与地质, 2017, 31(4): 794 - 799.
- [10] 庞振山, 梁天佑. 崤山地区太古代变质花岗岩地质地球化学特征[J]. 河南地质, 1997(4): 39 - 43.
- [11] 王秀全, 徐书奎, 赵彦巧. 豫西张家河岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成岩构造环境探讨[J]. 矿产勘查, 2019, 10(2): 165 - 173.
- [12] 刘红涛, 底青云, 薛国强, 等. 河南省崤山金多金属矿集区控矿构造分析与思考[J]. 地质与勘探, 2018, 54(2): 230 - 242.
- [13] 庞振山, 梁天佑, 肖中军. 崤山太古宙花岗岩—绿岩地体的地质特征[J]. 河南地质, 2000(1): 32 - 37.
- [14] 石铨曾, 尉向东, 李明立. 河南省东秦岭山脉北缘的推覆构造及伸展拆离构造[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [15] 李凤春, 侯明兰, 栾日坚, 等. 电感耦合等离子体质谱仪与激光器联用测量条件优化及其在锆石 U-Pb 定年中的应用[J]. 岩矿测试, 2016, 35(1): 17 - 23.

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Caojiayao pluton in west Henan province and the geological significance

XU Shukui^{1,2}

(1. Henan First Geological Brigade Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan province, China;

2. Henan Nonferrous Metal Mineral Exploration Engineering Technology Research Center,

Zhengzhou 450000, Henan province, China)

Abstract: Xiaoshan area and the adjacent Xiaoqinling and Xiongershan areas all belong to the south margin of north China block. The marginal area is an important Au-Ag polymetallic metallogenic and potential prospecting area in west Henan province. In Xiaoshan area is exposed large area of Neo-Archean intermediate-acid intrusive rocks and formation time and geochemical characteristics of the intrusive rocks have not been intensively studied and discussed. This paper deals with the problem. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating was made on samples from the intrusive rocks and obtained U-Pb age $2444 \text{ Ma} \pm 31 \text{ Ma}$ of Caojiayao monzonitic granite. The analysis data point fall in field of I-type granitic series and adakite. REE are fractionated, LREE enriched, HREE depleted. $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 3.82 \sim 30.83$, $w(\text{Y}) = 10.2 \times 10^{-6} \sim 11.7 \times 10^{-6}$. REE pattern obliquely to right. The data above show that Caojiayao monzonitic granite is characteristic of adakite belonging to high K-Ca-alkaline syntectonic granite. It is the product of crustal thickening.

Key Words: Caojiayao monzonitic granite; zircon U-Pb dating; Xiaoshan area; Henan province