

DOI: 10.12401/j.nwg.2022047

汉南杂岩高桥沟花岗斑岩体岩石地球化学特征及侵位机制时代归属探讨

吴新斌, 吴凡, 毛友亮, 李岩

(陕西地矿汉中地质大队有限公司, 陕西 汉中 723000)

摘要: 高桥沟花岗斑岩体位于扬子板块北缘, 属于汉南杂岩的一部分。锆石 LA-MCP-MS U-Pb 定年结果显示其形成时代为 (794.4 ± 5.7) Ma, 为南华纪早期。岩石地球化学特征为高 Si (75.78%~76.51%)、富碱 ($K_2O + Na_2O = 7.78\% \sim 7.84\%$)、富 K ($K_2O/Na_2O = 1.07 \sim 1.10$), 属高钾钙碱性系列。稀土总量 $\sum REE$ 为 272.57×10^{-6} , 轻重稀土元素组之间分馏明显。二长花岗斑岩形成于岩浆演化中晚期阶段, 岩浆上侵过程中部分熔融沉积岩、火山岩物质。高桥沟花岗斑岩体形成于后造山构造环境, 强力就位的侵位机制。

关键词: 汉南杂岩; 花岗斑岩; 南华纪早期; 地球化学特征; 侵位机制

中图分类号: P588.121

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)04-0329-07

Petrological Characteristics and Emplacement Mechanism of the Gaoqiaogou Granitic Porphyry in the Hannan Complex: A Geochemistry Approach

WU Xinbin, WU Fan, MAO Youliang, LI Yan

(Shaanxi Geology and Mineral Resources Hanzhong Geology Brigade Co Ltd, Hanzhong 723000, Shaanxi, China)

Abstract: Gaoqiaogou granite porphyry is a part of Hannan Complex, which is located in the northern margin of the Yangtze plate. LA-MCP-MS U-Pb dating of Zircon indicates that the Zircon was formed at (794.4 ± 5.7) Ma in the early South China epoch. The Rock Geochemistry is characterized by high silicon (75.78%~76.51%), high alkali ($K_2O + Na_2O = 7.78\% \sim 7.84\%$), high potassium ($K_2O/Na_2O = 1.07 \sim 1.10$), high potassium calcium alkaline series, total rare earth elements $\sum REE = 272.57 \times 10^{-6}$, and obvious fractionation between light and heavy rare earth elements. The monzonitic granite porphyry was formed in the middle and late stage of magmatic evolution. The material of partial melting sedimentary rock and volcanic rock in the process of magma intrusion. The Gaoqiaogou granite porphyry was formed in the post-orogenic tectonic environment and emplaced strongly.

Keywords: Hannan complex; granitic porphyry; early Nanhua period; geochemistry features; emplacement mechanism

扬子地块北缘的汉南地区是中国最重要的基性-超基性岩体分布区之一, 对研究和了解扬子板块新元古代构造演化具有重要的意义(李章志贤等,

2023)。汉南杂岩体位于扬子板块北缘, 前人总结认为其经历了 4 个演化阶段: ①与新太古代(?)—古元古代初始陆壳形成相关的岩浆岩。例如, 良心河片麻岩

收稿日期: 2021-11-11; 修回日期: 2022-08-11; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 陕西省地质调查院项目“陕西省 1:5 万中子铺、宁强、黎坪幅区域地质调查”(1212010010502)资助。

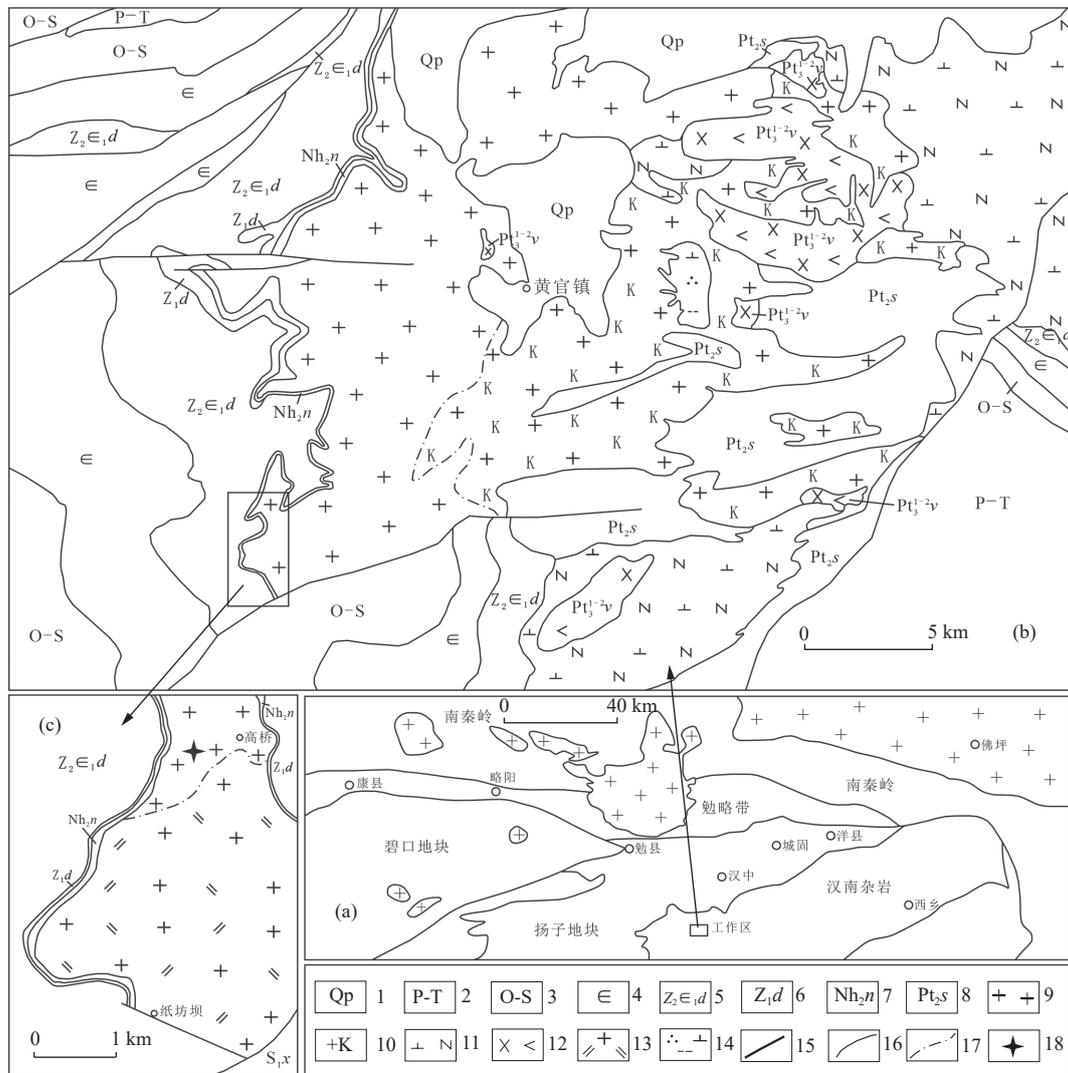
作者简介: 吴新斌(1969-), 男, 高级工程师, 长期从事区域地质调查及矿产勘查工作。E-mail: wuxinbin163@163.com。

套、代肖河片麻岩套,为花岗片麻岩、角闪斜长片麻岩等。②与中元古代板缘裂解相关的中-基性岩浆岩。例如,白勉峡基性杂岩体、文贯花岗岩体等。③与俯冲相关的中、新元古代中酸性岩浆岩。例如,望江山基性杂岩体、西水闪长岩体、碾子沟超单元、五堵门英云闪长岩体、二里坝石英闪长岩体(李章志贤等, 2023)。④与板块后碰撞阶段相关的新元古代酸性花岗岩类。例如,黄家营侵入岩、西乡花岗岩、黄官岭花岗岩、钢厂花岗岩、铁船山碱性花岗岩等(李章志贤等, 2023; 俞胜等, 2023)。前人对汉南杂岩“与板块后碰撞阶段相关的新元古代酸性花岗岩类”的研

究主要在西乡花岗岩体、钢厂花岗岩体等,对黄冠岭花岗岩体的研究较少,尤其缺少锆石 U-Pb 法同位素年龄数据。笔者在陕西宁强-黎坪一带开展 1:5 万区域地质调查的基础上,选取高桥沟花岗斑岩为研究对象,从岩石地球化学特征和形成时代入手,探讨其形成的构造环境和侵位机制,为进一步研究汉南地区岩浆活动及构造环境提供新的依据。

1 区域地质背景

研究区位于扬子板块北缘(图 1a),地层区划隶属



1.第四系; 2.二叠系—三叠系; 3.奥陶系—志留系; 4.寒武系, 5.上震旦统一下寒武统灯影组; 6.下震旦系统陡山沱组; 7.南沱组; 8.中元古界上两组; 9.花岗斑岩; 10.钾长花岗岩; 11.英云闪长岩; 12.角闪辉长岩; 13.二长花岗岩; 14.黑云石英闪长岩; 15.断层; 16.地质界线; 17.脉动接触关系; 18.锆石 U-Pb 同位素年龄采样点

图 1 扬子板块北缘大地构造略图(a)南郑区黄官镇一带地质简图(b)据陕西省地质调查院, 2008 修改)及高桥沟一带地质简图(c)(据陕西省地质调查院, 2013 修改)

Fig. 1 (a) Geological sketch map of the Northern Yangtze Block, (b) Huangguan and (c) Gaoqiao simplified geological maps

米仓山地层小区。汉南杂岩体隶属于中—新元古代汉南—小磨岭岩浆岩带, 汉南杂岩地质特征是岩石类型齐全(超基性—基性—酸性—碱性), 从深成—浅成—喷出均有, 为多期次活动的杂岩群, 主体形成于晋宁期(中—新元古代), 空间就位(展布)具明显的迁移性(东北→西南), 其成份具有基→酸→碱性的演化趋势(涂怀奎, 1991)。

高桥沟二长花岗斑岩位于汉南杂岩体的南西部, 属于黄官岭岩体的一部分(图 1b), 黄官岭岩体主要分布在南郑区黄官镇一带, 主要侵入中元古界上两组(Pt_2S)中, 呈近南北向带状产出, 南侧与古生代—中生代地层为断层接触, 西侧被南华系南沱组沉积不整合覆盖, 东侧脉动侵入于先期形成的中细粒浅色钾长花岗岩之中。

2 岩体地质及岩相学特征

该期侵入岩(体)在区域上构成汉南花岗岩体最外部的二长花岗斑岩带, 呈近北东向展布, 与区域构造方向基本一致。高桥沟岩体呈小岩枝分布于高桥沟一带(图 1c), 呈近南北向带状产出, 岩性为二长花岗斑岩。南侧与肉红色似斑状二长花岗岩为脉动接触, 西侧、东侧被南华系南沱组超覆其上, 北侧延出研究区外。

二长花岗斑岩呈浅暗褐色、灰黑色, 斑状结构、霏细结构, 块状构造(图 2A)。岩石由斑晶(15%±)和基质(85%±)组成。斑晶主要为石英(5%~6%)、钾长石(6%~7%)、斜长石(3%), 大小多为 0.5~1.5 mm, 少量为 0.2~0.5 mm 及 2~3 mm。钾长石斑晶呈不规则他形板状, 主要为正长石及条纹长石; 斜长石呈半

自形板柱状(图 2b), 发育聚片双晶, 边缘均见熔蚀, 且表面较污浊; 石英呈它形粒状, 局部见港湾状熔蚀边圈或熔蚀穿孔。基质主要为霏细状长石及石英(75%±)、显晶质长石石英(10%±)及少量绿泥石、磁铁矿, 大多都小于 0.005 mm, 可见少量为 0.01~0.05 mm。副矿物含量较少, 主要为锆石、黄铁矿、闪锌矿、绿帘石、褐铁矿、钛铁矿和磁铁矿。

3 形成时代

高桥沟二长花岗斑岩侵入于太古代—元古代中、高级变质结晶基底中(1:25 万汉中幅报告), 被南华系南沱组超覆, 研究区外南江县桃园镇茶园沟震旦系陡山沱组沉积不整合于南华纪细粒二长花岗岩之上。本次工作在二长花岗斑岩中采集 1 件锆石 U-Pb 法同位素年龄样品(LTW3), 在样品中挑选了 19 颗锆石, 阴极发光显示为岩浆成因锆石特征(图 3), 经西北大学大陆动力学重点实验室, 采用激光等粒子体质谱仪(LA-MCP-MS)进行分析测试, 由 U-Pb 同位素年龄谱和图(图 4a)和加权平均求得的同位素年龄为(794.4±5.7)Ma(图 4b), U-Pb 同位素参数值见(表 1)。结合区域地质背景、构造期并参考该同位素年龄值, 笔者确定该期侵入所形成的二长花岗斑岩时代为南华纪早期。

4 主量、微量元素特征

4.1 主量元素特征

高桥沟二长花岗斑岩的 SiO_2 含量为 75.78%~76.51%, 平均值为 76.15%, 属酸性岩范畴; Al_2O_3 为

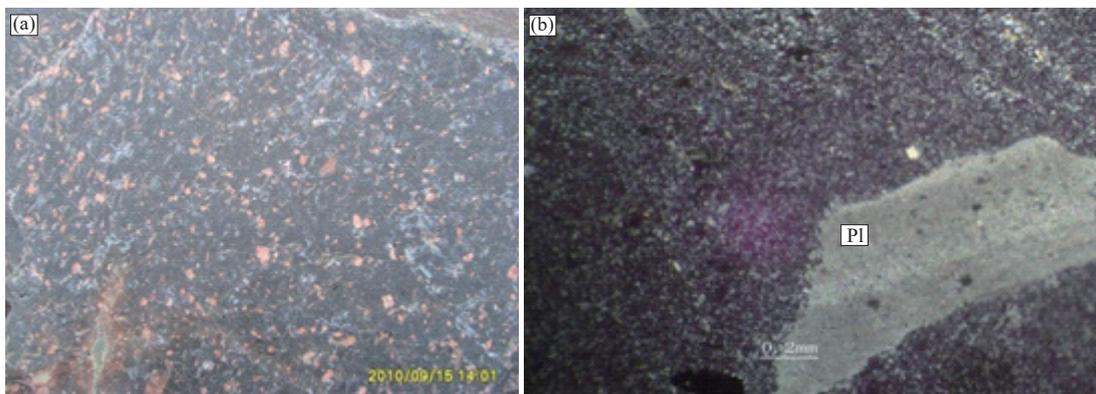


图 2 高桥沟二长花岗斑岩野外特征(a)及显微镜下特征(b)

Fig. 2 (a) The field characteristics and (b) micropotograph of monzonitic granite porphyry

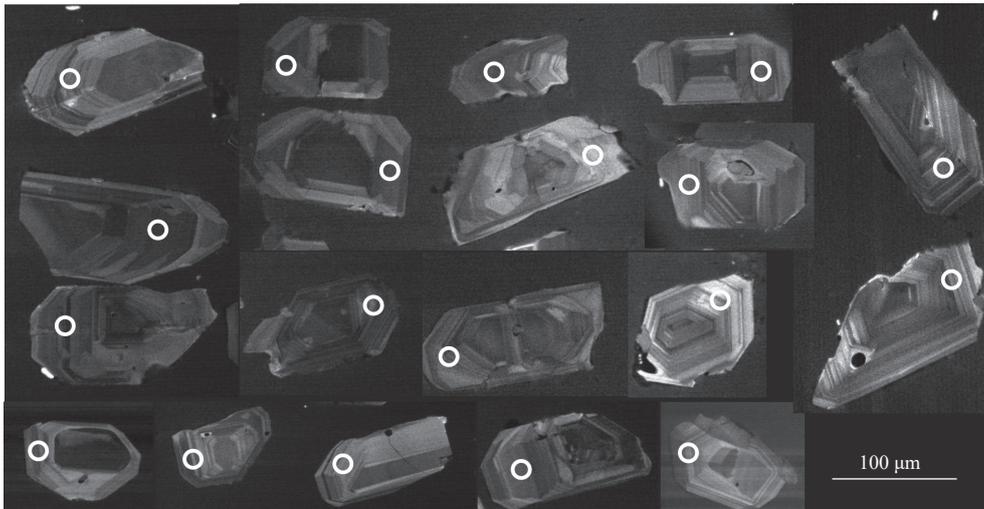
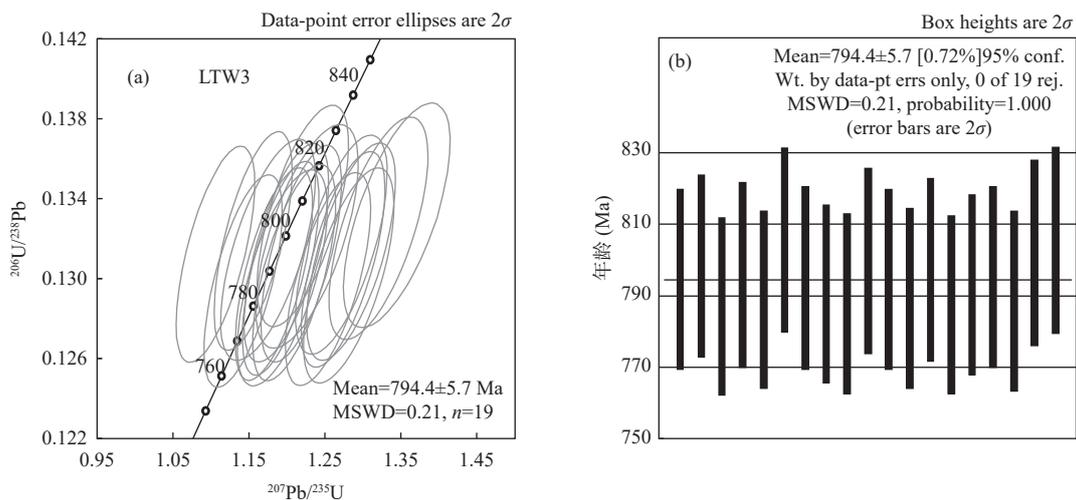


图3 二长花岗斑岩锆石的阴极发光(CL)图像

Fig. 3 Morphological feature of CL image of zircon

图4 二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄图(b)Fig. 4 (a) LA-ICP-MS Zircon U-Pb age Concordia diagram and (b) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age for monzonitic granite porphyry

11.80%，碱含量一般，其中 Na_2O 为 3.75%， K_2O 为 4.07%；其他氧化物含量分别为： TFe_2O_3 为 1.40%； MgO 为 0.18%； CaO 为 0.50%； TiO_2 为 0.23%； MnO 为 0.18%； P_2O_5 为 0.05%。二长花岗斑岩中氧化物含量与中国花岗岩类平均含量相比，除 SiO_2 含量偏高，其余大部分均偏低。

二长花岗斑岩以富碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 值为 7.78%~7.84%)，富 K($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 1.07~1.10)为特征。里特曼指数 σ 值为 1.83~1.85，属于钙碱性系列，表现出高钾钙碱性的演化趋势。二长花岗斑岩的铝饱和指数 A/CNK 平均值为 0.95，小于 1；而 A/NK 为平均值为 1.02，略大于 1，属于铝正常系列(石启慧等, 2023)。它们的分异指数(DI)值为 93.32，反映该期侵入体的

分异程度高。镁铁指数(MF)大(MF=93.19)，长英指数(FL)也大(FL=94)，说明岩浆分离结晶程度高(李昌年, 1992)。

4.2 微量元素特征

二长花岗斑岩中微量元素特征为强不相容元素 Rb、Th、Ba、U 元素强烈富集；中等不相容元素 Sr 强烈亏损，与斜长石的分离结晶相关(陈隽璐等, 2008)。而相容元素 Ni、Co、V、Sn 含量很低。岩石中其他有益元素大部分无明显富集趋势。微量元素特征与成熟大陆弧花岗岩型基本一致。

二长花岗斑岩中稀土总量 $\sum\text{REE}$ 值为 272.57×10^{-6} ，轻稀土 LREE 含量为 226.58×10^{-6} ，重稀土 HREE 含量为 45.99×10^{-6} ，LREE/HREE 值为 4.93； $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为

表1 高桥沟二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据表
Tab.1 LA-ICP-MS U-Pb dating of the Gaoqiaogou adamellite porphyry

测点	U (10^{-6})	Th	Th/U	同位素比值						同位素年龄 (Ma)	
				$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	1 σ	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$
1	114.11	94.86	0.83	0.131 18	0.002 21	0.061 09	0.001 86	1.104 88	0.021 05	794.6	642.3
2	104.65	70.17	0.67	0.131 84	0.002 23	0.063 54	0.001 93	1.154 7	0.020 93	798.4	726.3
3	66.59	51.83	0.78	0.129 85	0.002 17	0.063 77	0.001 91	1.141 82	0.021 01	787.0	734.0
4	35.33	25.03	0.71	0.131 4	0.002 26	0.064 85	0.002 1	1.174 56	0.025 37	795.9	769.3
5	73.62	44.19	0.60	0.130 18	0.002 17	0.065 87	0.001 94	1.182 31	0.020 68	788.9	802.2
6	56.84	41.26	0.73	0.133 11	0.002 26	0.066 49	0.002 07	1.220 1	0.024 45	805.6	821.8
7	57.6	42.84	0.74	0.131 25	0.002 23	0.066 25	0.002 05	1.198 64	0.022 71	795.0	814.4
8	223.3	212.54	0.95	0.130 48	0.002 18	0.066 21	0.001 95	1.190 94	0.020 55	790.6	813.0
9	38.99	27.39	0.70	0.129 99	0.002 21	0.066 58	0.002 08	1.193 11	0.024 14	787.8	824.6
10	18.48	13.36	0.72	0.132 08	0.002 28	0.067 32	0.002 22	1.225 57	0.027 55	799.7	847.7
11	79.25	55.64	0.70	0.131 2	0.002 21	0.067 36	0.002 01	1.218 17	0.021 67	794.7	849.0
12	74.87	43.41	0.58	0.130 26	0.002 21	0.067 33	0.002 05	1.208 91	0.022 14	789.3	848.0
13	54.67	43.17	0.79	0.131 66	0.002 24	0.070 01	0.002 17	1.270 61	0.024 6	797.3	928.8
14	66.17	51.87	0.78	0.129 94	0.002 18	0.069 95	0.002 09	1.253 27	0.022 87	787.5	926.9
15	105.38	109.79	1.04	0.130 93	0.002 2	0.070 55	0.002 11	1.273 27	0.022 37	793.2	944.4
16	73.21	53.57	0.73	0.131 3	0.002 22	0.070 93	0.002 15	1.283 77	0.023 76	795.3	955.4
17	43.44	26.11	0.60	0.130 12	0.002 2	0.071 39	0.002 19	1.280 45	0.024 33	788.5	968.6
18	36.24	20.27	0.56	0.132 48	0.002 27	0.072 27	0.002 28	1.319 78	0.026 59	802.0	993.7
19	47.38	37.24	0.79	0.133 11	0.002 29	0.073 23	0.002 34	1.343 78	0.028 65	805.6	1 020.2

注: 误差是1 σ ; Pb^{*}为放射成因铅; 应用实测的²⁰⁴Pb进行普通铅校正。

3.89, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值为 3.13, 轻重稀土元素组之间分馏明显(孙巍等, 2023; 田龙等, 2023), 轻稀土元素内部的分馏也明显, 重稀土元素组内部分馏较弱。 δEu 值为 0.58, 具较明显的负 Eu 异常, 表明岩浆源区有大量的斜长石残留或者在岩浆演化过程中斜长石发生过较强的分离结晶作用。 δCe 值为 1, 无异常, 其特征显示岩浆源于下地壳物质的熔融或壳幔接合部。

从稀土元素特征可以看出, 轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 3.89, 说明轻稀土元素较重稀土元素富集且分异程度较好。

5 花岗岩成因及构造环境分析侵位机制探讨

5.1 岩石成因及构造环境分析

高桥沟二长花岗斑岩以斑状结构, 含少量的锆石、黄铁矿、闪锌矿、绿帘石、褐铁矿、钛铁矿、磁铁矿为

特征, 属高钾钙碱性花岗岩类, 根据样品分析结果结合 1:25 万南江市幅区域地质调查报告, 认为区内二长花岗斑岩为岩浆成因。二长花岗斑岩铝饱和指数(A/CNK)值为 0.92~0.99, 均小于 1, 这与 I 型花岗岩的铝饱和指数(A/CNK)小于 1 相符(石启慧等, 2023)。在稀土元素方面, 二长花岗斑岩的轻重稀土比值(LREE/HREE)为 4.93, 轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损的特征, 与 I 型花岗岩相似。结合地质产出特征, 笔者认为二长花岗斑岩属 I 型花岗岩类。 δEu 值为 0.58, 具较明显的负 Eu 异常; δCe 值为 1, 无异常, 显示岩浆源为壳源, 其特征显示岩浆源于下地壳物质的熔融或壳幔接合部, 岩浆形成初期可能有幔源物质加入。岩石微量元素特征显示, 相容元素 Ni、Co 等强烈亏损, 而不相容元素 Rb、Rb、Th、Ba、REE 等则强烈富集, 形成强烈对比, 说明岩浆主源区并非来自地幔, 而是经地壳深熔作用或部分熔融作用形成岩浆。二长花岗斑岩岩浆源于下地壳或太古宙沉积岩、火山岩局部

熔融,形成于岩浆演化中晚期阶段。部分岩浆沿构造脆弱带率先侵入近地表,形成浅成-超浅成相的具霏细结构基质的二长花岗斑岩。

汉南杂岩体 U-Pb 同位素年龄年龄为(794.4±5.7) Ma。结合区域地质背景、构造期并参考该同位素年龄值,笔者确定该期侵入所形成的二长花岗斑岩时代为南华纪早期。根据前人总结的汉南杂岩体的4个岩浆演化阶段,其中,第4阶段是与板块后碰撞阶段相关的新元古代酸性花岗岩类阶段(新元古代中晚期),发生晋宁运动,原中酸性岩或残留岩浆因物理化学条件的变化,开始向上侵入并熔融上地壳中物质形成酸性岩浆,形成花岗闪长岩向花岗岩演化趋势。该演化趋势符合汉南杂岩体演化趋势,即中基性岩浆向中酸性岩浆演化,再向酸性岩浆演化特征。根据研究区花岗岩的地质产出特点,结合区域地质构造背景分析认为,研究区内侵入岩为后造山构造环境。

5.2 侵位机制探讨

二长花岗斑岩呈暗褐-灰黑色,斑状结构,基质霏细结构,镁铁含量较高。根据岩石特征表现出近地表的侵入岩特点,说明其形成深度具浅成-超浅成相的形成特点。

在蓊县纪末扬子区地壳总体上升的基础上,新元古代地壳加厚,使当时的汉南地区地壳上升,岩浆随之上升侵入于火地垭群中,形成汉南杂岩体中的浅成相的矿物以中细粒为主,呈斑状、似斑状结构的花岗质岩体,以岩基、岩株或岩枝状产出。纵观汉南杂岩体出露岩体,该期出露面积较小,但在岩体边缘均有出露,西侧为研究区内及附近南郑钢厂为代表的花岗岩体,东侧为西乡花岗岩体。总体呈现出侵吞的方式产出在岩体边缘。由此可预测,研究区在新元古代晚期南华纪,总体处于一个相对较强的伸展拉张环境,由于拉张及构造作用导致区域地温即区域热流值升高,岩浆体积急剧膨胀,体积扩张应变速率超过由岩浆的浮力所造成的挤压应变速率,造成岩浆源区向上迁移,导致中下地壳部分熔融,使岩浆以刺破式就位于早期形成的岩体边缘,形成花岗质岩体。侵入岩属强力就位的侵位机制。

6 结论

(1)高桥沟花岗斑岩体位于扬子板块北缘,属于汉南杂岩的一部分。岩体呈小岩枝分布于高桥沟一

带,呈近南北向带状产出,南侧与肉红色似斑状二长花岗岩为脉动接触,西侧、东侧被南华系南沱组超覆其上。侵入时代为南华纪早期,岩性为二长花岗斑岩。岩石化学分析显示 SiO₂ 含量为 75.78%~76.51%,平均值为 76.15%,属酸性岩范畴;铝饱和指数(A/CNK)平均值为 0.95,属于铝正常系列花岗岩,岩石富碱、富钾,里特曼指数 σ 值为 1.83~1.85,属于钙碱性系列,其分异指数、镁铁指数、长英指数整体高,说明岩浆分离结晶程度高。

(2)二长花岗斑岩微量元素中强不相容元素 Rb、Th、Ba 等元素强烈富集;中等不相容元素 Sr 强烈亏损,而相容元素 Ni、Co、V、Sn 含量很低,岩石中其它有益元素大部分无明显富集趋势。二长花岗斑岩的稀土总量 Σ REE 值为 272.57×10^{-6} ,轻重稀土元素组之间分馏明显,轻稀土元素内部分馏也明显,重稀土元素组内部分馏较弱。 δ Eu 为 0.58,具较明显的负 Eu 异常; δ Ce 为 1,无异常。稀土元素特征为轻稀土元素富集,重稀土元素亏损。

(3)汉南杂岩体 U-Pb 同位素年龄年龄为(794.4±5.7)Ma。结合区域地质背景、构造期并参考该同位素年龄值,笔者确定该期侵入所形成的二长花岗斑岩时代为南华纪早期,该岩体呈刺破式就位于早期形成的岩体边缘,岩石具 I 型花岗岩特征;侵入岩属强力就位的侵位机制,形成于浅成-超浅成相带。

致谢: 本文在编写和修改过程中得到陈隽璐正高级工程师、赵平甲正高级工程师的热心指导,提出了宝贵意见和建议,在此致以衷心的感谢!

参考文献(References):

- 陈隽璐,徐学义,曾佐勋,等.中祁连东段什川杂岩基的岩石化学特征及年代学研究[J].岩石学报,2008,24(04): 848-850.
- CHEN Junlu, XU Xueyi, ZENG Zuoxun, et al. Petrochemistry and geochronology of the Shichuan Complex batholith in the eastern segment of the central Qilian Mountains[J]. Journal of Petrology, 2008, 24(04): 848-850.
- 涂怀奎.汉南杂岩与金成矿特征[J].矿产与地质,1991,3(05): 164-167.
- TU Huaikui. Hannan complex and gold metallogenic characteristics [J]. Minerals and Geology, 1991, 3(05): 164-167.
- 李昌年.火山岩微量元素岩石学[M].武汉:中国地质大学出版社,1992: 74-79.
- LI Changnian. Micronutrient[M]. Wuhan: China University of

- Geosciences Press, 1992: 74–79.
- 李章志贤, 郑绍鑫, 张晓琪. 扬子北缘新元古代基性岩体铂族元素特征及找矿意义[J/OL]. 西北地质, 2023: 1–13. doi: 10.12401/j.nwg.2023032.
- LI Zhangzhixian, ZHENG Shaoxin, ZHANG Xiaoqi. Characteristics of Platinum Group Element in Neoproterozoic Mafic Intrusions in the Northern Margin of the Yangtze and Exploration Implications[J/OL]. Northwestern Geology, 2023: 1–13. doi: 10.12401/j.nwg.2023032.
- 陕西省地质调查院. 1 : 5 万中子铺宁强黎坪幅区域地质调查报告[R]. 陕西省地质调查院, 2013: 140–147. .
- 陕西省地质调查院. 1 : 25 万南江市幅区域地质调查报告[R]. 陕西省地质调查院, 2008: 144–163. .
- 石启慧, 章永梅, 顾雪祥, 等. 山东蓬莱石家金矿床早白垩世镁铁质-长英质脉岩地球化学特征及其成因[J]. 西北地质, 2023, 56(1): 99–116.
- SHI Qihui, ZHANG Yongmei, GU Xuexiang, et al. Geochemical Characteristics and Petrogenesis of the Early Cretaceous Mafic-Felsic Dykes in the Shijia Gold Deposit, Penglai, Shandong Province[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(1): 99–116.
- 孙巍, 许逢明, 吴大天, 等. 大兴安岭中部扎赉特旗晚三叠世 A 型花岗岩的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 2023, 56(2): 80–91 .
- SUN Wei, XU Fengming, WU Datian, et al. Discovery and Geological Significance of Late Triassic A-Type Granite in Jalaid Banner, Middle of Great Xing'an Range[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(2): 80–91.
- 田龙, 康磊, 刘良, 等. 东昆仑巴什尔希晚奥陶世二长花岗岩成因及其地质意义[J]. 西北地质, 2023, 56(2): 28–45.
- TIAN Long, KANG Lei, LIU Liang, et al. Petrogenesis and Geological Implications of Bashenerxi Monzogranite from East Kunlun Orogen Belt[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(2): 28–45.
- 俞胜, 贾轩, 徐磊, 等. 西秦岭白龙江地区志留系迭部组岩石地球化学特征及碎屑锆石原位 U-Pb 年代学研究[J/OL]. 西北地质, 2023: 1–17. doi: 10.12401/j.nwg.2023062.
- YU Sheng, JIA Xuan, XU Lei, et al. Geochemistry Characteristics and Detrital Zircon In-site U-Pb Geochronology of Silurian Diebu Formation in Bailongjiang Area, West Qinling Mountains[J/OL]. Northwestern Geology, 2023: 1–17. doi: 10.12401/j.nwg.2023062.