

Yindonggou Gabbro Geochemistry and Its Geological Implication, Henan Province

Haiming Yuan^{1,2}, Yang Cai^{3,4}, Qingquan Liu^{3,4}, Zhongfa Liu^{3,4}

¹The Third Geological Team of Henan Bureau of Geology and Mineral Resources of Nonferrous Metal, Zhengzhou Henan

²Non-Ferrous Mineral Exploration Engineering Research Center of Henan Province, Zhengzhou Henan

³Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring, Ministry of Education, Central South University, Changsha Hunan

⁴School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan

Email: 1553133811@qq.com

Received: Jul. 25th, 2018; accepted: Aug. 9th, 2018; published: Aug. 16th, 2018

Abstract

The gabbro are characterized by $\text{SiO}_2 = 47.05\% - 50.15\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.27\% - 0.47\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 0.64\% - 2.49\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12.14\% - 16.96\%$, $\text{ACNK} = 1.03 - 1.17$, which indicate that the gabbro are tholeiite series. The rocks are enriched in LREE, depleted HREE and negative or positive Eu anomalies, enriched in Ba, U, K, Sr, LILE and depleted Nb, Ta, Zr, Hf, Th, HFSE. The magma may be from the spinel phase partial melting. The gabbro formed in the arc tectonic setting.

Keywords

Yindonggou, Gabbro, Litho geochemistry, Henan Province

河南银洞沟矿区辉长岩地球化学特征及其地质意义

袁海明^{1,2}, 蔡洋^{3,4}, 刘清泉^{3,4}, 刘忠法^{3,4}

¹河南省有色金属地质矿产局第三地质大队, 河南 郑州

²河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心, 河南 郑州

³中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南 长沙

⁴中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙

Email: 1553133811@qq.com

收稿日期: 2018年7月25日; 录用日期: 2018年8月9日; 发布日期: 2018年8月16日

摘要

辉长岩岩石地球化学分析结果显示, 岩石 SiO_2 含量为47.05%~50.15%, K_2O 含量为0.27%~0.47%, Na_2O 含量为0.64%~2.49%, Al_2O_3 含量为12.14%~16.96%, 岩石属低钾拉斑系列。岩石稀土总量较低(34.25~55.77 ppm), 轻重稀土分异不明显, $\delta\text{Eu} = 0.90\sim 1.10$, Eu具有弱的正异常或弱的负异常。岩石具有Nb、Ta、Zr、Hf、Th等HFSE亏损, Ba、U、K、Sr等LILE富集的特征。岩浆可能来源于尖晶石相的地幔部分熔融, 岩石形成于岛弧构造环境。

关键词

银洞沟, 辉长岩, 岩石地球化学, 河南

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

银洞沟矿区位于河南省内乡县, 在1956年~1980年, 河南省地矿局区调队在本区全面系统地进行了1:20万区域地质调查, 1984年起, 河南有色地勘局在本区开展了相关的找矿预测工作, 1991年~1993年, 河南有色地质五队在本区圈出以银、金为主的多个地球化学综合异常, 1996年以来, 河南有色矿产地质研究所、河南有色地质三队相继开展了找矿勘查工作, 提供了重要的找矿信息。前人主要针对区内的银多金属矿床开展了一系列相关研究, 而对区内的岩浆岩研究相对较少。

秦岭造山带东段发育众多的侵入岩类, 时空上表现为多期岩浆侵入活动, 包括茶庵岩体、芦家坪岩体和牧虎顶岩体等, 此外, 还包括各类基性岩脉。加里东期侵入岩主要分布在区域中北部, 其成岩年龄在400 Ma~500 Ma之间[1]。海西期侵入岩主要分布在区域东部, 其成岩年龄在340 Ma~350 Ma之间[1]。隗合明等(2003) [2]对牧虎顶岩体进行Rb-Sr测年, 获得成年年龄为 482 ± 30 Ma, 认为牧虎顶岩体应为加里东期侵入岩。燕山期侵入岩在区域内出露较少, 为酸性侵入岩, 岩体规模大小不等。前人对区内出露的基性岩脉研究偏少, 本次以产于内乡县银洞沟矿区的辉长岩脉为研究对象, 对其进行岩石地球化学探讨有助于对区内构造演化过程的认识。本文拟通过岩石地球化学研究对其岩石成因和构造背景进行探讨, 为了解区域构造演化提供参考。

2. 区域地质背景

区域出露地层有早元古界秦岭群、中元古界宽坪群、早古生界二郎坪群、晚三叠统和晚白垩统。秦岭群自下而上分为雁岭沟组和石槽沟组, 雁岭沟组是区域上主要的出露地层, 该组岩石组合简单, 岩性十分稳定, 主要为层状白云质大理岩和石墨大理岩, 夹少许黑云斜长片麻岩、云母石英片岩、石墨片岩等, 石槽沟组主要岩性为含砾石榴斜长角闪岩、含石榴矽线黑云斜长片麻岩及含石墨大理岩。二郎坪群包括有小寨组、火神庙组和大庙组, 小寨组位于区域南部, 岩性主要为炭质二云母片岩、含炭质绢云母石英片岩、黑云母石英片岩、黑云片岩、变粒岩、变质长石石英砂岩及斜长角闪片岩, 火神庙组位于区域北部, 岩性主要为(变)细碧岩、角斑岩、石英角斑岩和相应的凝灰岩, 大庙组出露于火神庙组北侧, 呈狭长带状, 岩性主要是硅质板岩、大理岩、变质凝灰质砂岩和石英角斑岩组成。区域构造线方向主要为NWW向, 与整个秦岭造山带一致, 受区域断裂作用影响, NW及NE向次级断裂发育, 其在空间分布上成组出现、近直

线延伸、断续分布，与 NWW 向构造交织成网格状。对区内岩浆活动及成矿作用起到重要的控制作用。区域内岩浆侵入活动频繁强烈且伴随有不少火山喷发作用，岩浆作用基本贯穿整个地质演化历史，岩浆岩广泛发育，种类多，岩石类型以花岗岩类为主，并发育有基性岩和碱性岩，多呈岩基、岩株和岩脉。主要包括海西期芦家坪花岗岩体、茶庵花岗岩体、牧虎顶岩体以及燕山期的二郎坪岩体(图 1)。

3. 岩石学特征

辉长岩呈脉状产出，岩石呈灰绿色，细粒结构，块状构造。矿物成分斜长石 35%~55%，辉石 40%~50%，少量角闪石、石英。斜长石呈半自形粒状，粒度一般 1~3 mm；辉石，半自形—它形粒状，一般粒径小于 3 mm (图 2)。

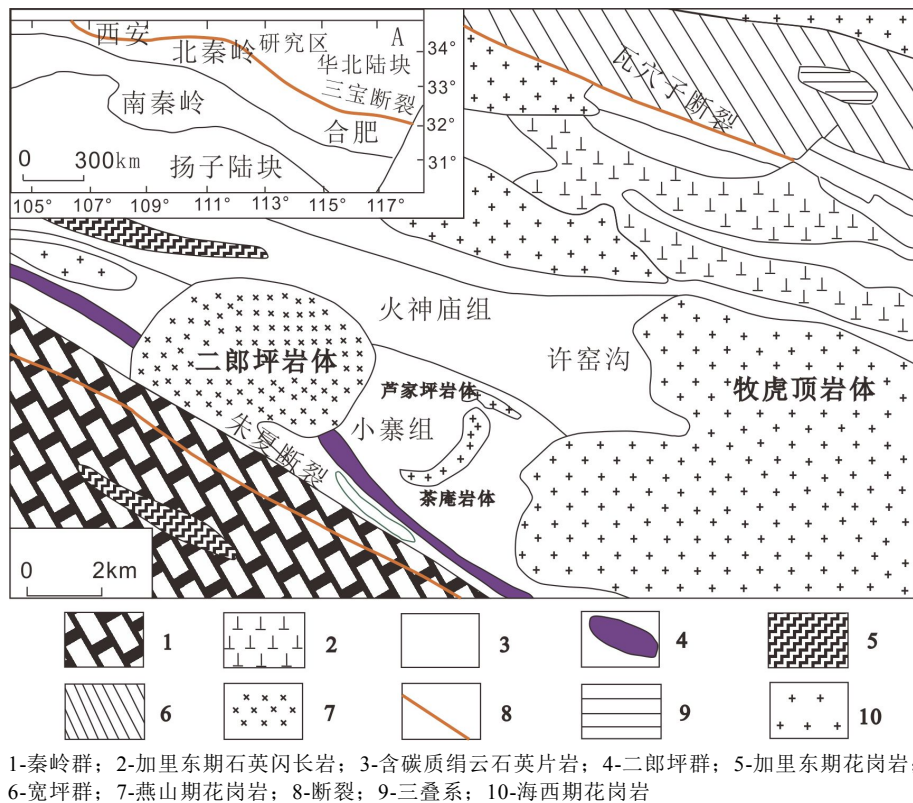
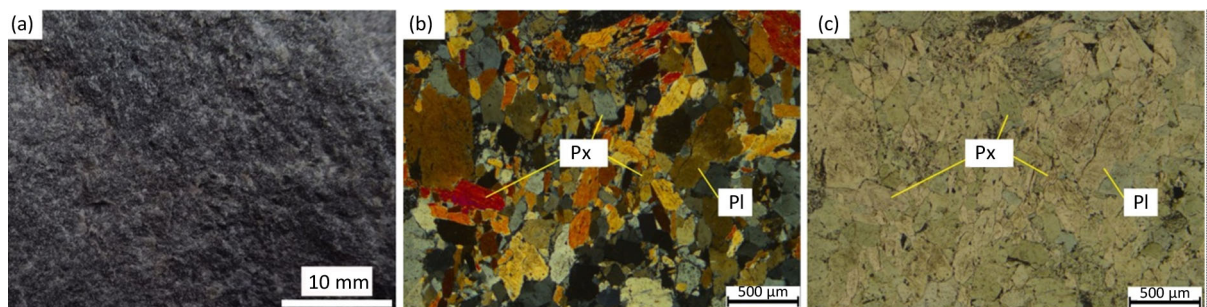


Figure 1. Regional geological map (according to [3])

图 1. 区域地质图(据文献[3]修改)



(a) 辉长岩标本; (b) 辉长岩显微结构(正交偏光); (c) 辉长岩显微结构(单偏光); Pl: 斜长石; Px: 辉石

Figure 2. Petrography of the gabbro

图 2. 辉长岩体岩相学特征

4. 岩石地球化学特征

全岩分析测试由澳实矿物实验室完成, 主量元素采用四硼酸锂熔片-XRF 法测定, 分析精度优于 5%, 微量元素 Nb、Ta、Zr、Hf 采用碱熔-ICP-MS 法测定, 其他微量元素采用混酸消解-ICP-MS 法测定, 微量元素优于 5%。分析测试结果见表 1。

4.1. 岩石主量元素特征

岩石 SiO₂ 含量变化范围较窄, 为 47.05%~50.15%之间, 平均 49.01%。MgO 含量为 7.31%~11.90%, 平均 9.72%, Al₂O₃ 和 CaO 含量较高, 分别为 12.14%~16.96%, 10.30%~12.80%, 平均值分别为 14.60% 和 11.73%。K₂O 含量(0.27%~0.47%), 低于 Na₂O 含量(0.64%~2.49%), 根据 TAS 分类图, 岩石样品投点都落在辉长岩范围内(图 3)。在全碱-硅图上(图 4), 岩石落在低钾拉斑系列范围内。

总的来说, 辉长岩具有高 Al₂O₃ 和 CaO, 低碱, 低 P₂O₅ (0.05%~0.09%, 平均值 0.07%)和低 TiO₂ (0.55%~0.61%, 平均值 0.59%)的特征。TiO₂ 含量总体低于大洋拉斑玄武岩和大陆溢流拉斑玄武岩的 TiO₂ 的平均值(分别为 2.63%和 1.0%, Wilson, 1989), 甚至略低于岛弧拉斑玄武岩中 TiO₂ 的含量(0.8%, Jakes and White, 1972)。

4.2. 岩石微量元素特征

辉长岩的稀土总量 $\Sigma\text{REE} = 34.25 \times 10^{-6} \sim 55.77 \times 10^{-6}$, 平均值 48.22×10^{-6} 。球粒陨石标准化稀土元素配分模式图显示(图 5(a)), 轻重稀土的分馏不太明显, LREE/HREE = 4.02~4.67, 平均 4.25, (La/Yb)_N = 3.39~4.21, 平均 3.78, 轻重稀土分异不明显。Eu 具有弱的正异常或弱的负异常, $\delta\text{Eu} = 0.90 \sim 1.10$, 平均 1.01。原始地幔标准化微量元素蛛网图显示(图 5(b)), 微量元素整体分布较为平坦。Nb/Ta 比值在 11~16 之间, Zr/Hf 比值在 31~35 之间, 皆低于原始地幔组成(Nb/Ta = 17; Zr/Hf = 36) [4]。岩石具有 Nb、Ta、Zr、Hf、Th 等 HFSE 亏损, Ba、U、K、Sr 等 LILE 富集的特征。

5. 岩石成因

岩浆岩岩石的化学成分可用于探讨岩石起源的大地构造背景[7], 其中的高场强元素, 如 Nb、Ta、

Table 1. Major and trace elements composition of the gabbro

表 1. 辉长岩主量元素(wt%)和微量元素(10⁻⁶)分析结果

样品号	LJP-24	LJP-25	LJP-26	LJP-27	LJP-28	LJP-29
岩石	辉长岩					
SiO ₂	49.33	50.01	49.34	48.15	47.05	50.15
TiO ₂	0.59	0.61	0.55	0.57	0.61	0.59
Al ₂ O ₃	16.85	16.96	12.52	12.48	12.14	16.62
Fe ₂ O ₃	9.32	9.52	10.52	11.24	11.70	9.18
MnO	0.21	0.20	0.25	0.23	0.24	0.21
MgO	7.54	7.31	11.50	11.90	11.80	8.29
CaO	11.80	11.05	12.15	12.30	12.80	10.30
Na ₂ O	2.16	2.01	1.16	0.87	0.64	2.49
K ₂ O	0.28	0.39	0.47	0.31	0.27	0.34
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.07	0.06	0.05	0.08

Continued

LOI	1.70	2.23	1.85	2.25	2.44	2.18
Total	99.97	100.49	100.52	100.49	99.87	100.51
A/CNK	0.67	0.71	0.51	0.52	0.49	0.72
A/NK	4.37	4.55	5.18	7.06	9.03	3.72
Rb	7.3	10.8	17.9	9.4	8.0	10.9
Ba	144.5	229	226	128.5	127.0	168.0
Th	1.56	1.74	2.32	1.47	1.05	1.65
U	0.34	0.39	0.25	0.28	0.17	0.35
Nb	2.1	2.1	2.3	1.6	1.3	2.2
Ta	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
Pb	6	3	2	4	5	2
Sr	423	470	228	223	292	311
Zr	38	39	35	31	25	38
Hf	1.1	1.2	1.1	0.9	0.8	1.2
Nb/Ta	11	11	12	16	13	11
Zr/Hf	35	33	32	34	31	32
La	7.9	9.2	9.5	7.5	5.8	8.5
Ce	16.6	18.6	20.0	15.0	11.7	18.9
Pr	2.09	2.43	2.52	1.83	1.48	2.44
Nd	9.1	10.6	10.7	8.2	6.5	10.6
Sm	2.08	2.44	2.49	1.70	1.41	2.29
Eu	0.73	0.80	0.73	0.67	0.54	0.77
Gd	2.24	2.53	2.43	2.03	1.64	2.50
Tb	0.38	0.47	0.42	0.34	0.28	0.41
Dy	2.48	2.79	2.62	2.24	1.83	2.87
Ho	0.53	0.59	0.59	0.48	0.41	0.59
Er	1.57	1.78	1.66	1.39	1.17	1.72
Tm	0.24	0.27	0.25	0.21	0.17	0.26
Yb	1.57	1.71	1.62	1.34	1.15	1.80
Lu	0.23	0.28	0.24	0.21	0.17	0.29
Y	13.8	14.9	14.1	12.1	10.0	15.6
∑REE	47.74	54.49	55.77	43.14	34.25	53.94
LREE/HREE	4.17	4.23	4.67	4.24	4.02	4.17
(La/Yb) _N	3.61	3.86	4.21	4.01	3.62	3.39
δEu = Eu/Eu*	1.03	0.98	0.90	1.10	1.08	0.98

注: 标准化值引自文献[4]; A/CNK = molarAl/(Ca + Na + K); A/NK = molarAl/(Na + K); δEu = Eu/Eu* = 2Eu_N/(Sm_N*Gd_N); δEu = Eu/Eu* = 2Eu_N/(Sm_N*Gd_N).

Zr、Hf、Th 以及 HREE 不易受后期热液蚀变和低于角闪石相的变质作用的影响[7] [8]，因此可用这些元素对岩浆源区进行判别。图 6(a)显示，辉长岩样品呈现出受蚀变洋壳流体交代趋势，表明源区早期可能受俯冲板片流体交代作用的影响。La/Yb-Sm/Yb 图解能有效的判别岩浆源区石榴石和尖晶石含量变化及岩浆起源深度[9]，在图 6(b)中，岩石样品投点接近于尖晶石二辉橄榄岩熔融曲线，表明岩浆可能来源于尖晶石相的地幔部分熔融。

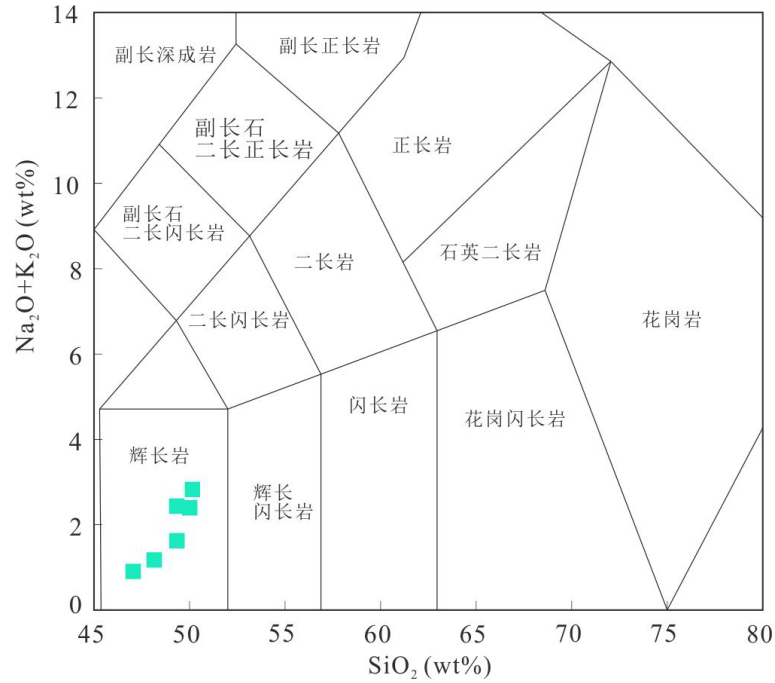


Figure 3. TAS diagram of the gabbro (according to [5])

图 3. 辉长岩 TAS 图解(底图据文献[5])

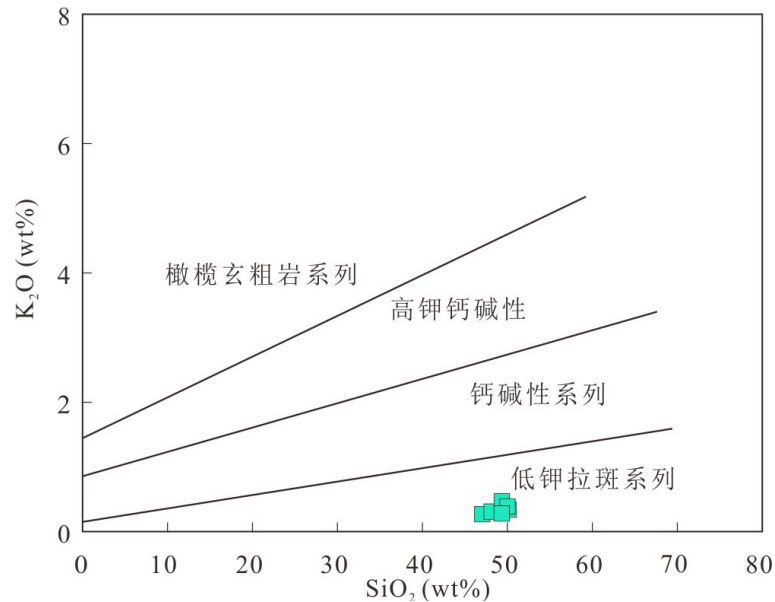
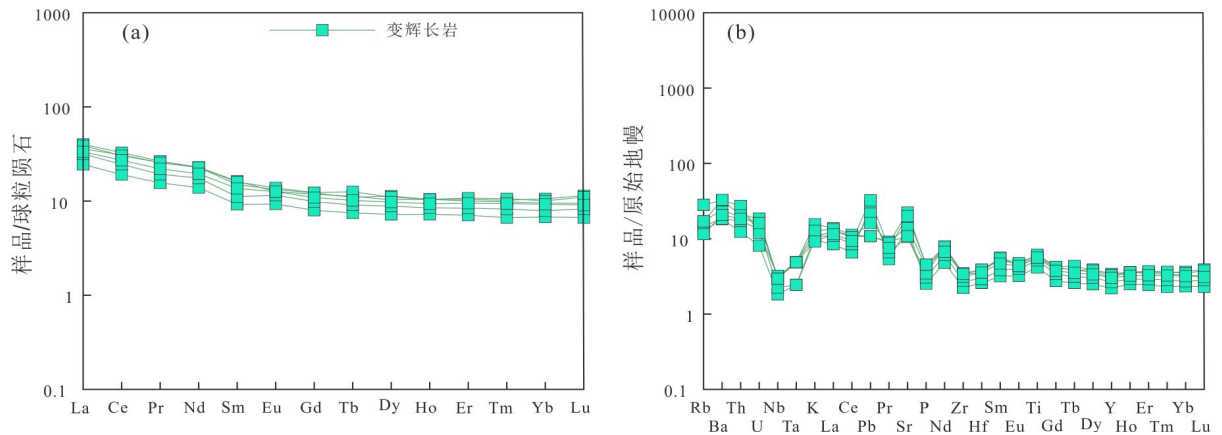


Figure 4. K₂O-SiO₂ diagram of the gabbro (according to [6])

图 4. 辉长岩 K₂O-SiO₂ 图解(底图据文献[6])



原始地幔标准值和球粒陨石标准化值据参考文献[4]。

Figure 5. Chondrite-normalised REE pattern (a) and PM-normalised incompatible element spider diagram (b) of the gabbro
图 5. 辉长岩球粒陨石标准化稀土元素分布模式图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

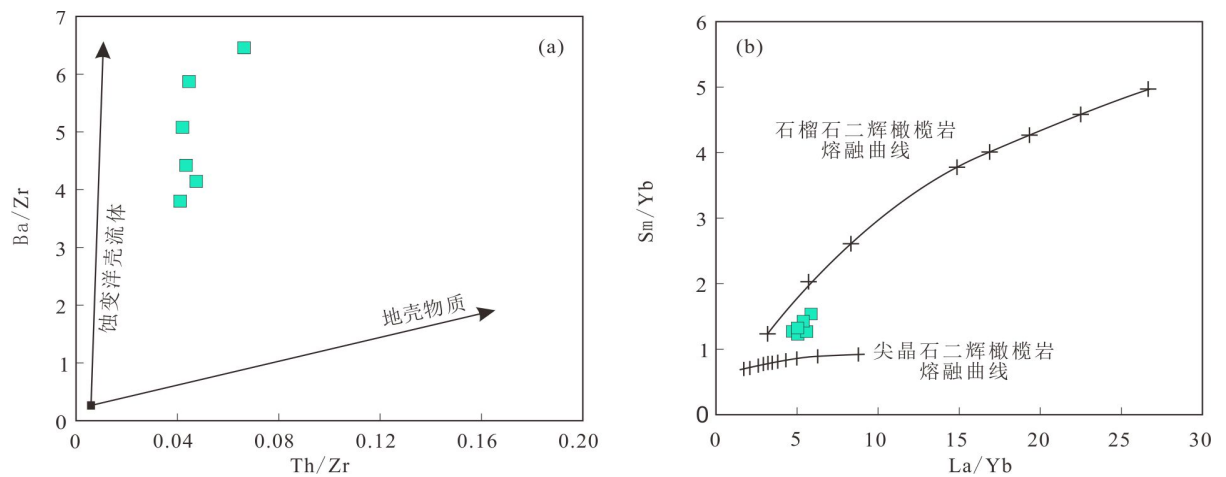
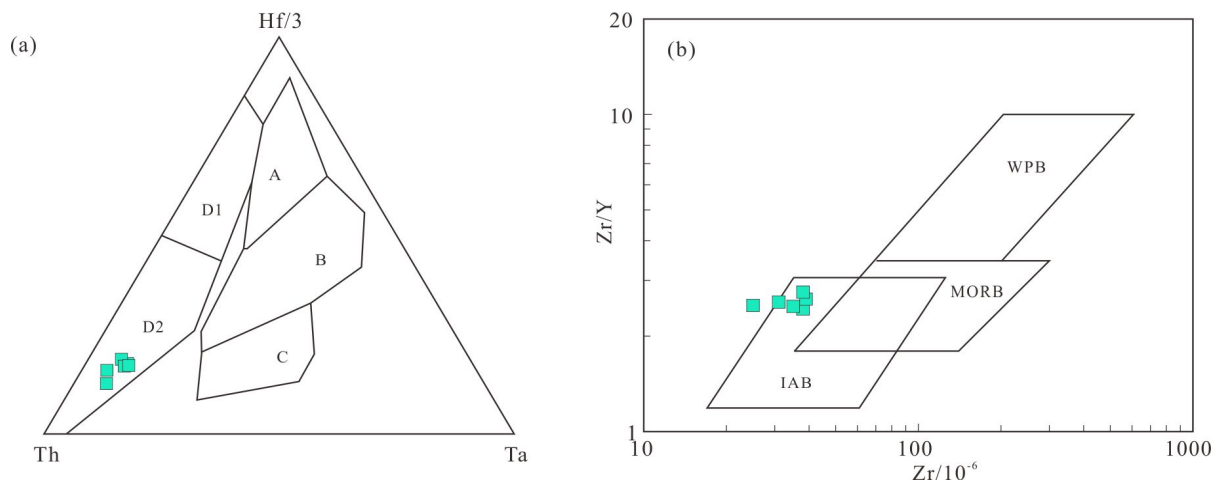


Figure 6. Th/Zr-Ba/Zr (a) (according to [10]) and La/Yb-Sm/Yb (b) diagram of the gabbro (according to [9])

图 6. 辉长岩 Th/Zr-Ba/Zr 图解(a) (底图据文献[10])和 La/Yb-Sm/Yb 图解(b) (底图据文献[9])



A-N-MORB; B-E-MORB; C-板内碱性玄武岩; D-岛弧拉斑玄武岩; IAB-岛弧玄武岩; MORB-洋中脊玄武岩; WPB-大陆裂谷玄武岩

Figure 7. Tectonic environment discrimination of the gabbro (according to [14])

图 7. 构造环境判别图解(底图据文献[14])

岩浆运移过程中地壳物质的加入能富集 LREE 和 LILE, 亏损 Ti、Nb 和 Ta [11], 辉长岩中 Ta、Nb 含量小于地壳中两者的含量($Nb = 8 \times 10^{-6}$, $Ta = 0.7 \times 10^{-6}$) [11]。再加上 $Lu/Y = 0.016 \sim 0.019$ 远低于大陆地壳的分布范围的 0.16~0.18 [11], 排除了地壳物质加入的可能。典型的 Nb、Ta 和 Ti 的亏损是岛弧构造环境的重要标志之一[12] [13], 再加上富集的 LILE, 表明辉长岩具有俯冲带的亲缘性。

结合构造环境判别图解, 辉长岩显示出“岛弧型”地球化学特征, 表明岩石形成于岛弧构造环境(图 7), 也暗示了在岩浆形成之前其地幔源区曾发生过俯冲流体交代富集作用。

6. 结论

1) 银洞沟矿区辉长岩属低钾拉斑系列, 轻重稀土分异不明显, Eu 具有弱的正异常或弱的负异常, 岩石轻稀土元素相对富集、重稀土元素相对亏损, 具有 Nb、Ta、Zr、Hf、Th 等 HFSE 亏损, Ba、U、K、Sr 等 LILE 富集的特征。

2) 岩浆源区可能经历过俯冲板片流体交代作用的影响, 岩浆可能来源于尖晶石相的地幔部分熔融, 岩石应形成于岛弧构造环境。

参考文献

- [1] 河南省有色金属地质矿产局. 河南省内乡——南召地区银铅锌矿评价报告[R]. 郑州: 河南省有色金属地质矿产局, 2003: 1-33.
- [2] 隗合明, 焦建刚, 杨发成. 河南内乡牧虎顶花岗岩特征及与金矿的关系[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003(1): 1-6.
- [3] 伏雄, 门道改, 秦臻, 王红莲, 左家, 伏寒江, 韩娟, 文双辉. 河南芦家坪银金多金属矿床地质特征及成因[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2011(5): 536-543.
- [4] Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**, 313-345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- [5] Middlemost, E.A.K. (1994) Naming Materials in Magma/Igneous Rock System. *Earth Science Reviews*, **37**, 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- [6] Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**, 63-81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- [7] Pearce, J.A. and Cann, J.R. (1973) Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, **19**, 290-300. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(73\)90129-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(73)90129-5)
- [8] Winchester, J.A. and Floyd, P.A. (1997) Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, **20**, 325-343. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)
- [9] Xu, Y.G., Ma, J.L., Frey, F.A., et al. (2005) Role of Lithosphere-Asthenosphere Interaction in the Genesis of Quaternary: Alkali and Tholeiitic Basalts from Datong, Western North China Craton. *Chemical Geology*, **224**, 247-271. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.08.004>
- [10] 张贵山, 温汉捷, 李石磊, 胡瑞忠, 裘愉卓. 闽北角闪辉长岩的地球化学特征及其地球动力学意义[J]. 矿物学报, 2009, 29(2): 243-252.
- [11] Rudnick, R.L. and Gao, S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, **3**, 1-64. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4>
- [12] Ionov, D.A. and Hofmann, A.W. (1995) Nb-Ta-Ti-Rich Mantle Amphiboles and Micas: Implications for Subduction Related Metasomatic Trace Element Fractionations. *Earth and Planetary Science Letters*, **131**, 341-356. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(95\)00037-D](https://doi.org/10.1016/0012-821X(95)00037-D)
- [13] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 92-103.
- [14] Pearce, J.A. (1982) Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries. In: Thorpe, R.S., Ed., *Andesites*, Wiley, Chichester, 525-548.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org