

内蒙古浩尧尔忽洞高钾钙碱性花岗岩岩石成因及构造意义

王得权^{1,2}, 刘建朝¹, 张海东¹, 门文辉¹, 郑利宏¹,
赵宗勤³, 李强³, 高海龙³

(1. 长安大学, 陕西 西安 710054; 2. 新疆工程学院, 新疆 乌鲁木齐市 830000;
3. 内蒙古太平矿业有限公司, 内蒙古 包头 014000)

摘 要: 浩尧尔忽洞金矿为低品位超大型中低温热液型金矿, 矿区内华力西期花岗岩发育。SiO₂ 含量为 71.5%~73.07%, Na₂O/K₂O 值为 0.59~0.67, 平均值为 0.64, 属于高钾钙碱性系列。Hark 图解上各元素含量随 SiO₂ 变化成线性规律明显, 具 I 型花岗岩特征。Mg# 为 39~49, 其平均值为 43, 与下地壳麻粒岩的平均值 (45.36) 相近。ΣREE 值变化范围为 72.64×10⁻⁶~132.6×10⁻⁶, 总体上稀土含量较低。(La/Yb)_N 值为 12.99~34.13, 显示轻重稀土有较大的分馏。在稀土元素蛛网图上表现为右倾。Ba/Th 值为 133.93~178.93, 认为板片俯冲流体影响较小。δEu 含量为 0.52~0.96, 平均值为 0.75, 具有中等到低的 Eu 亏损。根据其地球化学特征, 认为该岩体为后碰撞期形成的高钾钙碱性 I 型花岗岩。

关键词: 高钾钙碱性花岗岩; 后碰撞; Hark 图解; 微量元素

中图分类号: P588.12

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2013)04-0025-08

Petrogenesis and Tectonic Significance of High-K Calc-alkaline Granite in the Haoyao'erhudong of Inner Mongolia

WANG De-quan^{1,2}, LIU Jian-chao¹, ZHANG Hai-dong¹, MEN Wen-hui¹, ZHENG Li-hong¹,
ZHAO Zong-qin³, LI Qiang³, GAO Hai-long³

(1. Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Xingjiang Engineering College, Urumqi 830000, China; 3. Inner Mongolian Taiping Mining Co., LTD, Baotou, Inner Mongolia 014000, China)

Abstract: Hercynian granite is found developed in Haoyao'erhudong gold deposit, a low-intermediate hydrothermal deposit with low-grade ultra-large reserves. Analysis on the granite has shown that the ratio of SiO₂ ranges from 71.5% to 73.07%, and the ratio of Na₂O/K₂O ranges from 0.59 to 0.67 with an average value of 0.64, thus the granite belongs to high-K calc-alkaline series. According to Hark diagram, the content of each element is obviously in line with the variation tendency of SiO₂, to express the characteristics of I-type granite. The content of Mg# ranges from 39 to 49, and its average of 43 is similar to the average value (45.36) of lower crust granulite. The value of ΣREE from 72.64×10⁻⁶ to 132.6×10⁻⁶ signifies a low content of rare earth. The ratio of (La/Yb)_N ranges from 12.99 to 34.13, revealing biggish fractionation between LREE and HREE. The distribution curve on REE spider chart goes right. The ratio of Ba/Th ranges from 133.93 to 178.93, indicating less influence on the underthrust plate. The content of δEu varies from 0.52 to 0.96, with an average of 0.75, indicating negative Eu anomaly from intermediate to a lower level. According to some other geochemical features, it is

收稿日期: 2013-04-15; 修回日期: 2013-09-09

基金项目: 长安大学“内蒙古浩尧尔忽洞金矿成矿作用综合研究”工作项目, 中国地质调查局项目 (1212011121076)

作者简介: 王得权 (1981-), 男, 博士研究生, 主要从事地质矿产勘查及矿床研究。E-mail: wdq0013@163.com

considered that the ore body is high-K Calc-alkaline I-type granite formed in post-collision environment.

Key words: High-K Calc-alkaline granite; post-collision; Hark diagram; trace elements

白云鄂博地区金矿床众多,除一些砂金矿点外,区内分布的金矿床主要有浩尧尔忽洞金矿、赛乌素金矿、干斯陶勒盖金矿、布龙土金矿点、沙拉庙金矿点和比鲁特金矿点等。浩尧尔忽洞金矿位于内蒙古乌拉特中旗境内,2010 年开始投产,年产黄金 3.55 t。2012 年,矿山进一步加大地质勘查工作,提交金储量达 200 t。郭书胜等(2008)对浩尧尔忽洞金矿的成矿机制进行研究,认为浩尧尔忽洞金矿属于浅成中低温热液型金矿。区内主要为华力西中、晚期侵入的岩浆岩,距金矿化带数百米至数千米不等,此外矿区内还出露了大量各种不同成分的火成岩脉,侵入岩内尚未发现任何金矿化,但岩脉周围金富集。因此,提出金成矿作用可能与华力西期构造岩浆活动有关的认识(王玉峰,2012)。赵百胜等(2012)认为浩尧尔忽洞金矿为沉积-变质型金矿,后期的岩浆活动对成矿作用影响较小。因此,对矿区内酸性岩体的深入研究具有重要意义。目前,已获得浩尧尔忽洞金矿床外围花岗斑岩和黑云母花岗岩的锆石 U-Pb 年龄值分别为 287.5~290.9 Ma 和 267.9~274.0 Ma,对金矿石英脉内黑云母进行 Ar-Ar 测年,获得 270.2 ± 2.5 Ma,认为与矿区内花岗岩体形成年龄相近(肖伟等,2012;王建平等,2011)。但对矿区内花岗岩的类型和成因研究较少。因此,笔者主要侧重于本区二长花岗岩的成因研究,希望能对金矿床成因的深入研究和进一步找矿工作的开展提供帮助。

1 地质概况

研究区主体位于华北地台北缘西段白云鄂博台缘裂陷带上,北侧与白乃庙-白银都西隆起-裂陷带相邻,南侧为石哈河陆内隆起,与渣尔泰山陆内凹陷带相隔(肖荣阁等,2000)。

出露的地层主要包括太古宇五台群、早元古界色尔腾山群、中元古界白云鄂博群、奥陶系-石炭系、侏罗系、白垩系和少量新生界。地层分布范围较小,面积约 200 km²,呈长条状、月牙状、不规则状“漂浮”在华力西—加里东期中酸性大岩基之

上。矿区内的含矿地层主要为白云鄂博群比鲁特组,其岩石类型有碳质变粉砂岩、粉砂质板岩、碳质板岩、千枚岩和红柱石十字石石榴子石片岩等,断层、节理和各类脉岩均较发育,硅化和硫化物蚀变强烈。矿区及其周边出露华力西中、晚期侵入的岩浆岩。岩浆岩主要以岩基、小岩株出露于矿区北部和南部,岩石类型主要为黑云母花岗岩、花岗闪长岩、粗粒花岗岩和辉长岩。此外,矿区内还有大量岩脉出露,包括辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩、花岗岩等(图 1)。

2 岩相学特征

二长花岗岩体位于浩尧尔忽洞金矿矿区东部,呈岩基状产出。肉红色,块状构造,石英约占 40%,斜长石约占 30%,钾长石约占 20%,黑云母约占 5%。

3 样品分析方法

在岩体采样 8 件,样品新鲜,无硅化,钾化现象。主、微量和稀土元素分析在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室;主量元素分析方法:利用电子天平准确称取 0.5000 ± 0.0001 g 岩石粉末样品和 4.0000 ± 0.0001 g Li₂B₂O₇,混合均匀后在高频熔样机熔成玻璃片,然后用 XRF 测定;微量、稀土元素分析方法:称取约 0.040 g 岩石粉末样品于 Teflon 溶样器中,加适量 HNO₃ 和 HF 赶硅,反应完后,蒸干,再加入适量 HNO₃ 和 HF,放入配套的不锈钢溶样弹中,在 185℃ 温度下消解 48 小时,取出蒸干后加入 HNO₃ 赶 HF,然后用 40% HNO₃ 提取,稀释一定倍数后用 ICP-MS (USA Thermo Electron Co. X7 型) 测试。测试结果见表 1。

4 地球化学特征

4.1 主量元素

二长花岗岩 SiO₂ 含量为 71.5%~73.07%,平

表 1 浩尧尔忽洞岩体主量元素 (wt%) 和微量元素 ($\times 10^{-6}$) 分析表

Tab.1 The analytical results of major (wt%) and trace elements (10^{-6}) of the Haoyaoerhudong granitoids

样品编号	HR028-1	HR028-2	HR028-3	HR028-4	HR028-5	HR028-6	HR028-7	HR028-8
SiO ₂	72.94	72.45	73.07	72.85	73.01	72.72	72.36	71.5
TiO ₂	0.22	0.23	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23	0.24
Al ₂ O ₃	14.28	14.11	14.02	13.99	14.21	13.94	14.04	14.08
TFe ₂ O ₃	2.11	2.18	1.97	1.94	2.08	2.09	2.27	2.41
MnO	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06
MgO	0.38	0.41	0.39	0.35	0.41	0.34	0.44	0.58
CaO	1.16	1.31	1.24	1.21	1.09	1.11	1.31	1.35
Na ₂ O	3.37	3.28	3.36	3.28	3.25	3.1	3.22	3.18
K ₂ O	5.02	4.9	4.89	5.05	5.05	5.19	5.09	5.06
P ₂ O ₅	0.07	0.08	0.05	0.06	0.06	0.11	0.06	0.06
LOI	0.64	0.56	0.56	0.76	0.48	0.86	0.61	0.59
Total	100.26	99.57	99.82	99.75	99.9	99.73	99.7	99.11
Li	5.67	5.08	4.83	5.62	7.77	5.75	4.96	5.1
Be	1.55	1.58	0.85	1.38	1.16	1.07	1.15	0.83
Sc	1.61	1.64	1.56	1.46	1.52	1.62	1.84	1.99
Cr	6.14	8.18	8.62	31.67	11.66	9.92	29.72	22.92
Co	2.61	2.92	2.57	2.66	2.94	2.64	3.4	3.56
Ni	3	3.53	3.53	6.54	4.39	3.47	14.04	6.41
Cu	10.22	10.77	10.85	11.4	11.88	12.22	13.21	11.65
Pb	21.14	19.54	23.62	23.22	26.02	19.74	20.92	19.65
Zn	33.77	34.92	27.07	35.53	34.68	34.9	35.03	35.85
Ga	14.15	14.44	14.12	12.88	13.74	12.73	14.08	14.52
Rb	153	131.2	120.8	136.2	117.3	140.6	129.7	122
Sr	191.1	215.1	185.4	181.3	186.5	179.4	222.4	227.6
Y	7.85	9.22	7.63	6.53	6.25	6.23	7.54	6.3
Zr	175.5	194.2	177.1	177	175.9	183.4	199	187.7
Nb	10.15	9.16	9.27	8.64	9.12	8.3	8.73	8.27
Ta	0.9	0.71	0.61	0.55	0.6	0.49	0.56	0.43
Cd	0.1	0.1	0.08	0.36	0.14	0.09	0.09	0.07
In	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cs	4.44	4.29	2.09	3.61	3.19	2.97	1.52	1.79
Ba	1078	1243	1171	1090	1171	1084	1245	1228
La	29.13	35.72	37.47	17.81	14.84	26.63	24.09	20.2
Ce	58.95	60.54	63.49	34.38	37.87	44.9	54.93	52.25
Pr	5.34	6.55	6.86	3.43	3.04	4.77	4.54	4.07
Nd	15.85	19.91	20.84	10.52	9.5	14.56	13.23	12
Sm	2	2.73	2.95	1.57	1.44	1.98	1.81	1.71
Eu	0.42	0.48	0.45	0.4	0.38	0.41	0.49	0.5
Gd	1.63	2.33	2.36	1.36	1.3	1.59	1.6	1.47
Tb	0.21	0.3	0.29	0.19	0.18	0.2	0.23	0.19
Dy	1.17	1.56	1.4	1.05	1.04	1.05	1.24	1.07
Ho	0.27	0.33	0.27	0.24	0.23	0.22	0.27	0.23
Er	0.81	0.93	0.75	0.69	0.7	0.66	0.82	0.69
Tm	0.13	0.14	0.11	0.11	0.11	0.1	0.13	0.11
Yb	0.9	0.94	0.74	0.76	0.77	0.71	0.89	0.76
Lu	0.14	0.15	0.12	0.13	0.12	0.11	0.15	0.12
Hf	3.74	4.15	3.88	4.13	3.91	4.17	4.34	4.08
Mg [#]	41	43	44	42	44	39	44	49
A/CNK	1.09	1.07	1.07	1.07	1.11	1.09	1.06	1.06
ΣREE	124.8	141.83	145.73	79.17	77.77	104.12	111.96	101.67
LREE/HREE	21.23	18.85	21.86	15.03	15.07	20.09	18.59	19.55
(La/Yb) _N	21.82	25.62	34.13	15.79	12.99	25.29	18.25	17.92
δEu	0.71	0.58	0.52	0.83	0.85	0.71	0.88	0.96

注：测试单位：长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室。

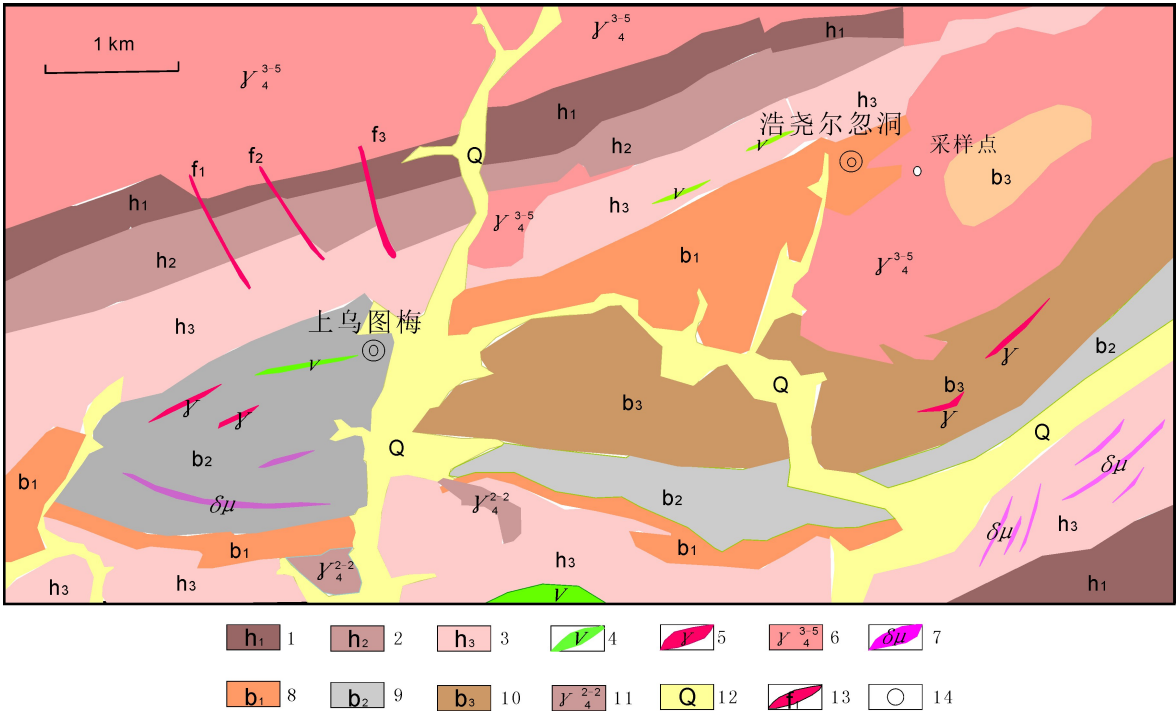


图 1 浩尧尔忽洞地区地质简图

Fig. 1 Generalized geologic map of the Haoyaoerhudong region

1. 哈拉霍疙特一段; 2. 哈拉霍疙特二段; 3. 哈拉霍疙特三段; 4. 辉长岩; 5. 花岗岩脉; 6. 肉红色花岗岩; 7. 闪长玢岩; 8. 比鲁特一段; 9. 比鲁特二段; 10. 比鲁特三段; 11. 灰白色花岗闪长岩; 12. 第四纪覆盖; 13. 断层及编号; 14. 采样点

均值为 72.61%。在岩石分类命名图解中投影于花岗岩区域 (图 2a)。Na₂O 含量为 3.1%~3.37%，平均值为 3.25%。K₂O 含量为 4.9%~5.19%，平均值为 5.03%。Na₂O/K₂O 值为 0.59~0.67，平均值为 0.64。MgO 含量为 0.34%~0.58%，平均值为 0.41%。TiO₂ 含量为 0.21%~0.23%，平

均值为 0.22%，为高钾钙碱性系列 (图 2b)。一些学者认为高钾钙碱性花岗岩是碰撞后的挤压-伸展转折阶段的产物 (汪传胜, 2008; 翁望飞, 2011)。Al₂O₃ 含量为 13.94%~14.28%，平均值为 14.08，A/CNK 值为 1.06~1.1，平均值为 1.08，属于过铝质系列。

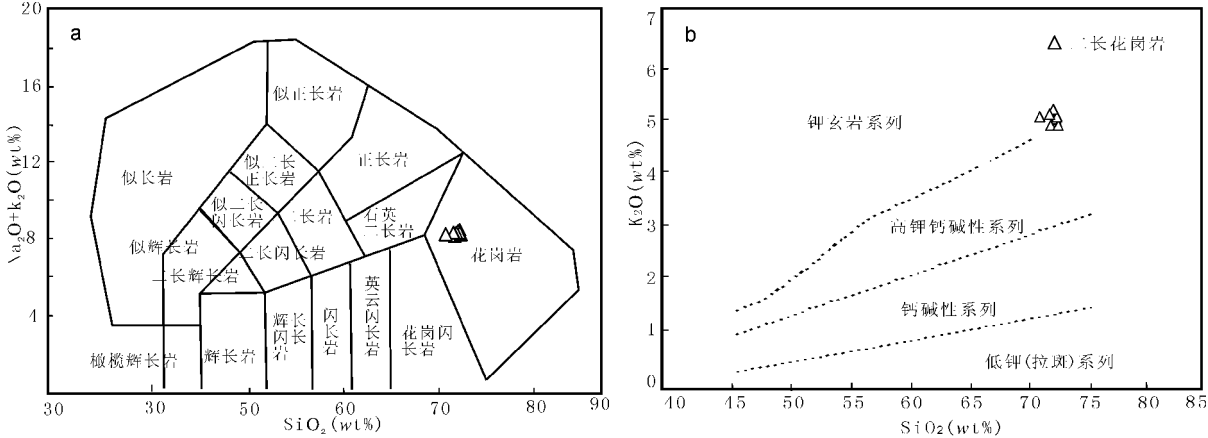


图 2 浩尧尔忽洞岩体 SiO₂-K₂O+Na₂O 和 SiO₂-K₂O 岩浆系列判别图 (据 Rickwood, 1989)

Fig. 2 Whole rock SiO₂ vs. K₂O + Na₂O and SiO₂ vs. K₂O discrimination diagram of the Haoyaoerhudong rock (after Rickwood, 1989)

在主要元素哈克图解(图 3)上,二长花岗岩各元素含量随 SiO₂ 变化成线性变化明显,SiO₂ 与 CaO、P₂O₅、TiO₂、TFe₂O₃、Na₂O 负相关和 Pb 正相关,反映可能是铁镁矿物、铁氧化物及磷灰石等矿物分离的结果 (Zhong et al, 2009; Chappell et al,

1999; Wu et al, 2003b)。P₂O₅ 和 Pb 随 SiO₂ 的变化规律可以作为区分 S 和 I 型花岗岩的工具 (Li et al, 2007)。P₂O₅ 随 SiO₂ 含量的增加而减少(图 3a),Pb 随 SiO₂ 的增加而增加(图 3b)。变化趋势与 I 型花岗岩变化趋势相似。

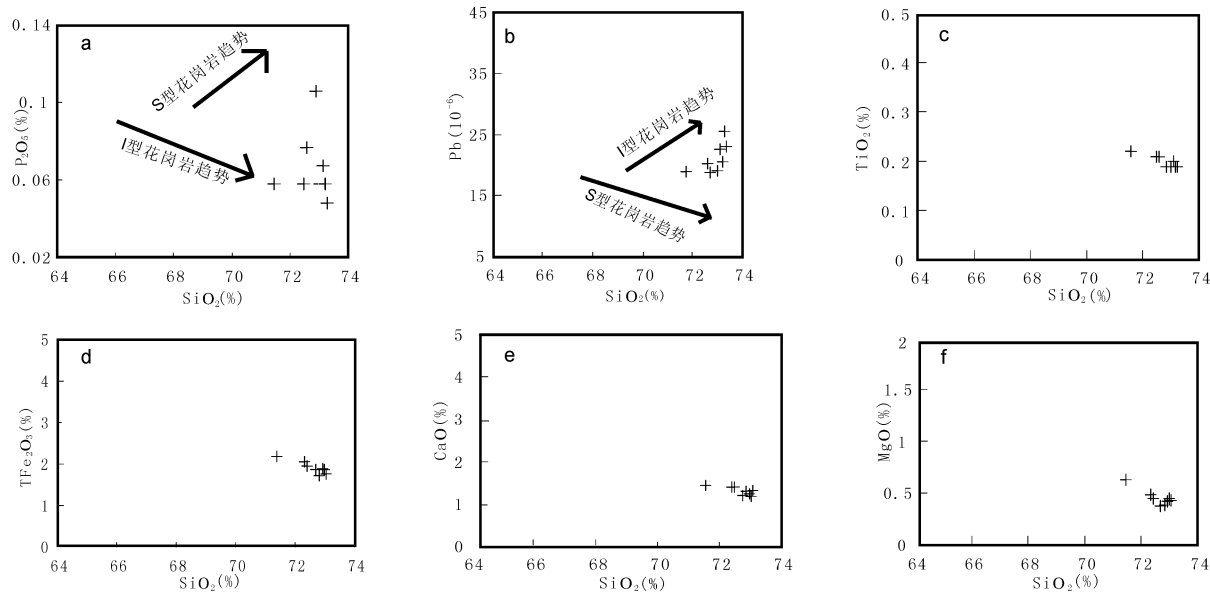


图 3 浩尧尔忽洞岩体哈克图解

Fig. 3 Hark diagram of whole rock in Haoyaoerhudong granitoids

4.2 微量元素

微量元素蛛网图中,大离子亲石元素 (Rb、Cs、Sr、Ba、K) 及高场强元素 (Nb、Ta、Ti)

富集 (图 4a); 稀土元素表现出 LREE 富集, HREE 亏损的特点。在稀土元素蛛网图上表现为右倾 (图 4b)。

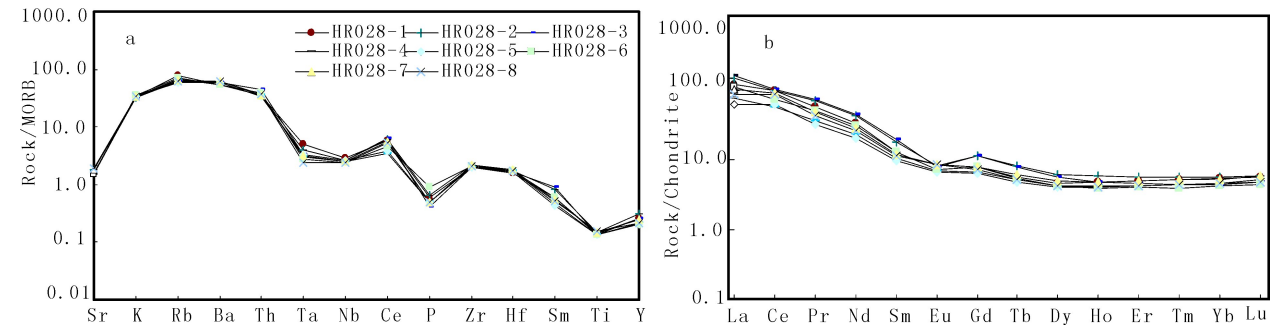


图 4 浩尧尔忽洞微量元素蛛网图 (a) 和稀土元素蛛网图 (b)

Fig. 4 primitive mantle-normal concentrations (a) and (b) Chondrite-normalized rare earth element distribution patterns of the adamellite in Haoyaoerhudong granitoids

二长花岗岩体的 Σ REE 值变化范围为 $72.64 \times 10^{-6} \sim 132.6 \times 10^{-6}$, 平均值为 103.68×10^{-6} , 总体上稀土含量较低。LREE/HREE 值为 $15.03 \sim$

21.86 , 平均值为 18.78 , $(La/Yb)_N$ 值为 $12.99 \sim 34.13$, 平均值为 21.47 , 显示轻重稀土有较大的分馏。 δEu 含量为 $0.52 \sim 0.96$, 平均值为 0.75 ,

具有中等到低的 Eu 亏损, 可能是其源区残留斜长石的结果。

4.3 Pb 同位素特征

Pb 同位素具有良好的稳定性, 其含量变化只受元素衰变和岩浆混合作用影响。因此, Pb 同位素组成是示踪成矿物质来源最有效的方法。笔者收集了浩尧尔忽洞岩地区华力西期运动中后期花岗岩和含金石英脉的 Pb 同位素数据 (表 2), 以讨论二长花岗岩的岩浆源区。²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值为

16.637~18.012, 平均值为 17.321。²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值为 15.304~15.528, 平均值为 15.428, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值为 36.972~38.295, 平均值为 37.643。

在²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 图解中, 投影在下地壳与造山带之间 (图 5a), ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 投影靠近下地壳与造山带之间 (图 5b), 认为研究区华力西期二长花岗岩岩浆可能来源于下地壳物质的熔融。

表 2 浩尧尔忽洞岩体 Pb 同位素分析表
Tab. 2 Pb isotopic compositions for the Haoyaoerhudong granitoids

样品名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	t (Ma)	资料来源
二长花岗岩	17.635	15.446	37.837	291	赵百胜等, 2012
石英二长闪长岩	16.898	15.351	37.485	291	赵百胜等, 2012
碱长花岗岩	18.012	15.492	38.295	291	赵百胜等, 2012
碱长花岗岩	16.637	15.304	36.972	291	赵百胜等, 2012
含金石英脉	17.109	15.452	37.403		王玉峰, 2012
含金石英脉	17.635	15.528	37.868		王玉峰, 2012

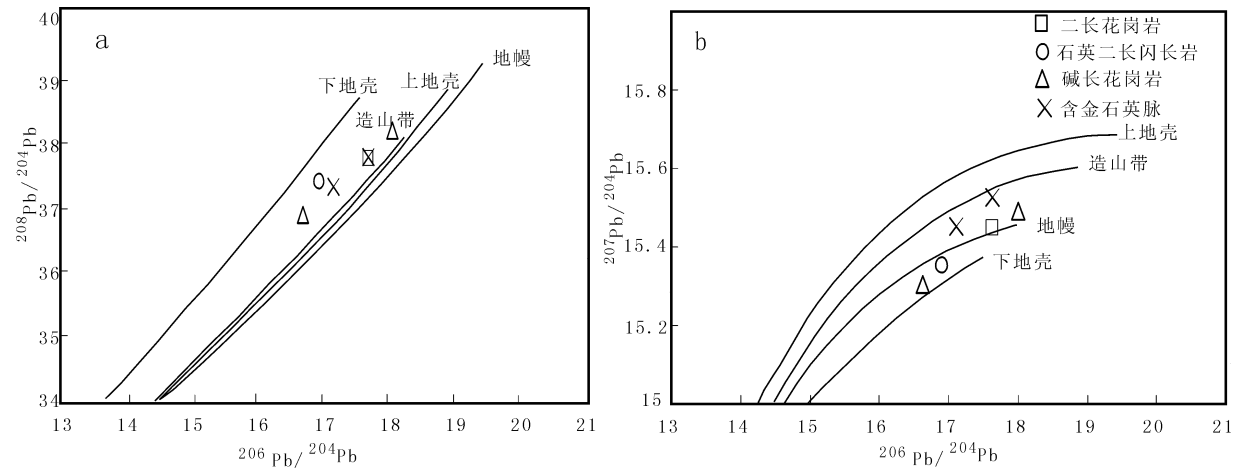


图 5 ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb (a) 和 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb (b) 投影图解 (据 Zartman 等, 1981)

Fig. 5 ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb (a) and ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb (b) diagrams (after Zartman et al, 1981)

5 讨论

在晚古生代的华力西运动期, 西伯利亚板块不断向华北板块推移, 在华北板块北缘发生大规模岩浆活动, 是研究区主要岩浆期和成矿期, 表现出陆缘、陆间型活动带的逐渐封闭固结与新陆壳的不断增生扩展。在晚华力西运动, 该区发育磨拉石建造 (杨理华等, 1980; 崔盛芹等, 2000; 胡桂明等, 1998)。磨拉石建造应该代表着主碰撞期的结束。

Ba 是俯冲带流体中非常丰富的元素。Ba/Th>300, 一般代表俯冲带流体对岩浆源区的贡献比较显著 (Devine et al, 1995)。二长花岗岩 Ba/Th 值为 133.93~178.93, 平均值为 159.62。因此, 认为板片俯冲流体影响较小, 指示该时期可能为后碰撞构造环境。在微量元素构造环境判别图中, 二长花岗岩投影于后碰撞区域 (图 6)。显示出后碰撞高钾钙碱性 I 型花岗岩的特征 (张栋等, 2011; Altherr et al, 2000; Dada et al, 1995)。

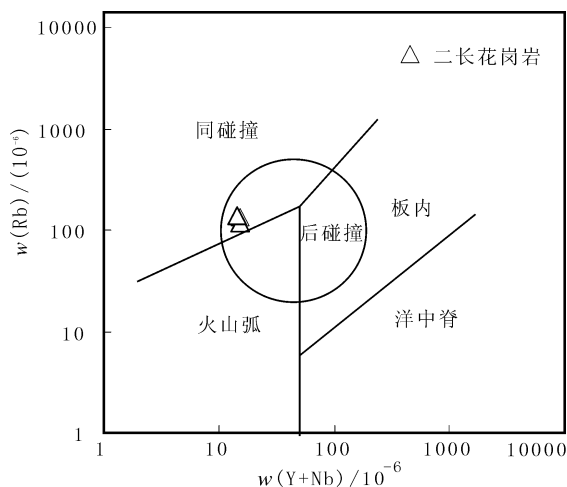


图6 Rb-Y+Nb构造判别图

Fig. 6 Rb-Y+Nb diagram for granites

二长花岗岩 $Mg^\#$ 为 39~49, 其平均值为 43, 与该地区下地壳麻粒岩的平均值 (45.36) 相近 (罗红玲等, 2007), 认为岩浆可能来源于下地壳物质熔融, 与 Pb 同位素特征一致。在微量元素中, Sr 含量为 $179.4 \times 10^{-6} \sim 227.6 \times 10^{-6}$, 平均值为 198.6×10^{-6} , 表现为贫 Sr 的特点。Yb 的含量为 $0.71 \times 10^{-6} \sim 0.94 \times 10^{-6}$, 平均值为 0.81×10^{-6} , 表现为低 Yb 的特点; Sr/Y 值为 23.32~36.12, 平均值为 27.99, $Sr/Y > 20$, 高于正常的结晶分异 Sr/Y 值。二长花岗岩低 Sr、低 Yb 和高 Sr/Y 值的特点, 表明源区可能有石榴子石和角闪石为残留相 (Castillo et al, 2006)。因此, 源岩可能为下地壳含石榴子石和斜长石的高压麻粒岩相。二长花岗岩成因可能为西伯利亚板块与华北板块碰撞, 在碰撞过程中地壳快速缩短, 垂向增厚 (Zhang et al, 2004) (地壳厚度达到 30~40 km), 所产生的热量使下地壳的高压麻粒岩相部分熔融而形成。岩浆在上侵过程中可能为 Au 元素的迁移提供了热源。研究区高钾钙碱性 I 型花岗岩的发现, 可能标志着华北陆台北缘的浩尧尔忽洞地区在同碰撞阶段在中、晚之前已经结束, 进入后碰撞阶段。

6 结论

(1) 根据主、微量元素、 $Mg^\#$ 和 Pb 同位素特征, 认为浩尧尔忽洞二长花岗岩为后碰撞阶段形成的高钾钙碱性 I 型花岗岩。

(2) 二长花岗岩低 Sr、低 Yb 和高 Sr/Y 比值的特点, 认为研究区二长花岗岩岩浆来源于下地壳物质的部分熔融, 岩浆在上侵过程中可能为 Au 元素的迁移提供了热源, 对金矿的形成具有积极意义。

参考文献 (References):

- 郭书胜. 浩尧尔忽洞金矿床成因-控矿因素浅析[J]. 科技论坛, 2008, 16 (a): 22-23.
- Guo Su-sheng. Analysis ore genesis and ore-controlling factors in Haoyaoerhudong Gold Deposit [J]. Science and Technology Forum, 2008, 16 (a): 22-23.
- 王玉峰. 内蒙古浩尧尔忽洞金矿区岩体地球化学特征及其成矿意义[D]. 北京: 中国地质大学地球科学与资源学院, 2012: 30-40.
- Wang Yu-feng. The Geochemical Characteristics and Its' Ore-forming Significance of the Pluton in the Haoyaoerhudong Gold Deposit of Inner Mongolia [D]. China University of Geosciences Earth science and resources institute, Beijing, 2012: 30-40.
- 赵百胜, 刘家军, 王建平, 等. 内蒙古长山壕金矿床地球化学特征与成因研究[J]. 现代地质, 2012, 25 (6): 1077-1086.
- Zhao Baisheng, Liu Jiajun, Wang Jianping, et al. Geological-Geochemical Characteristics and Genesis of Changshanbao Gold Deposit in Inner Mongolia China [J]. Geoscience, 2012, 25 (6): 1077-1086.
- 肖伟, 聂凤军, 刘翼飞, 等. 内蒙古长山壕金矿区花岗岩同位素年代学研究及地质意义. 岩石学报, 2012, 28 (2): 535-543.
- Xiao W, Nie FJ, Liu YF, et al. Isotope geochronology study of the granitoid intrusions in the Changshanbao gold deposit and its geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28 (2): 535-543.
- 王建平, 刘家军, 江向东, 等. 内蒙古浩尧尔忽洞金矿床黑云母氩氦年龄及其地质意义[J]. 矿物学报, 2011 (增刊): 643-644.
- Wang jianping, Liu Jiajun, Jiang Xiangdong, et al. Haoyaoerhudong Gold Deposit Black Mica Argon Argon Age and Geological Significance [J]. Mineral Journal 2011 (sup.): 2011, 643-644.
- 肖荣阁, 彭润民, 王美娟, 等. 华北地台北缘西段主要成矿系统分析[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2000, 25 (4): 362-368.
- Xiao Rongge, Peng Runmin, Wang Meijuan, et al. Analysis of Major Metallogenic Systems in Western

- Section, Northern Margin of North China Platform [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2000, 25 (4): 362-368.
- 汪传胜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 东天山哈尔里克山区二叠纪高钾钙碱性花岗岩成因及地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25 (6): 1499-1511.
- Wang CS, Gu LX, Zhang ZZ, et al. Petrogenesis and geological implications of the Permian high-K talc-alkaline granites in Harlik Mountains of eastern Tianshan, NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25 (6): 1499-1511.
- 翁盛飞, 支利庚, 蔡连友, 等. 皖南中生代高钾钙碱性埃达克岩地球化学特征及岩石成因[J]. *地质调查与研究*, 2011, 2 (35): 98-107.
- Weng Wangfei, Zhi Ligeng, Cai Lianyou, et al. Geochemical Characteristics and Petrogenesis of the Mesozoic Adakite in South Anhui Province [J]. *Geological Survey and Research*, 2011, 2 (35): 98-107.
- 杨理华, 李钦祖. 华北地区地壳应力场[M]. 北京: 地震出版社, 1980, 39-41.
- Yang Lihua, Li Qinghua. Crustal stress field in north China [M]. *Earthquake Publishing House*, Beijing, 1980: 39-41.
- 崔盛芹. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局[M]. 北京: 地质出版社, 2000, 179-183.
- Cui Sheng-qin. northern margin of north china landmass sequence tectonic movement and regional structure pattern [M]. *Geological Publishing House*, Beijing: 2000: 179-183.
- 胡桂明, 王守伦. 华北陆台北缘地体构造与铁金矿产[M]. 北京: 地质出版社, 1998, 50-56.
- Hu Guiming, Wang Shoulun. Northern Margin of North China Landmass Terrane Tectonics and Gold Mineral [M]. *Geological Publishing House*, Beijing, 1998: 50-56.
- 张栋, 路彦明, 潘爱军, 等. 东准噶尔北缘两类钙碱性花岗岩特征及其构造-成矿意义[J]. *西北地质*, 2011, 2 (44): 51-71.
- Zhang Dong, Lu Yanming, Pan Aijun, et al. Two Types of Calcium Alkaline Granite and Their Tectonic-Metallogenic Significance in North Margin of Eastern Junggar [J]. *Northwestern Geology*, 2011, 2 (44): 51-71.
- 罗红玲, 吴泰然, 李毅. 乌拉特中旗克布岩体的地球化学特征 SHRIMP 定年: 早二叠世华北克拉通底侵作用的证据[J]. *岩石学报*, 2007, 23 (4): 755-766.
- Luo H L, Wu T R, Li Y. Geochemistry and SHRIMP dating of the Kehu massif from Wulatezhongqi, Inner Mongolia evidence for the Early Permian underplating beneath the North China Craton [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (4): 755-766.
- Castillo PR. An overview of adakite petrogenesis [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51: 257-268.
- Zhang Cheng-li, Liu Liang, Zhang Guo-wei, Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the north Qinling Mountains and its tectonic significance. *Earth Science Frontier* [J]. 2004, 3 (11): 33-42.
- Rick P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. *lithos*. 1989, 22: 247-263.
- Devine J D. Petrogenesis of the basalt-andesite-dacite association of Grenada, Lesser Antilles island arc, revisited [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1995, 69 (1-2): 1-33.
- Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. High²potassium, calc² alkaline I-type plutonism in the European Variscides; north²ern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 2000, 50: 51-73.
- Dada S S, Briquieu L, Harms U, et al. Charnockitic and monzonitic Pan-African series from north-central Nigeria: trace-element and Nd, Sr, Pb isotope constraints on their Petrogenesis [J]. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 1995, 124: 233-252.
- Zhong H, Zhu Wg Hu RZ, et al. Zircon U-Pb age and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of the Panzhihua A-type syenitic intrusion in the Emeishan large igneous province, southwest China and implication for growth of iuvenile crust [J]. *Lithos*, 2009, 110: 109-128.
- Chappell BW. Aluminium saturation in I-and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. *Lithos*, 1999, 46: 535-551.
- Li XH, Li ZX, LI WX, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab [J]. *Lithos*, 2007, 96: 186-204.
- Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics: the model [J]. *Tectonophysics*, 1981, 75 (1/2): 135-162.