

冀西麻棚花岗岩类侵入岩体岩石地球化学特征

息朝庄 戴塔根 刘 伟 张惠军

(中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:以冀西石湖金矿麻棚岩体为研究对象,分别对斑状花岗岩、花岗闪长岩及石英闪长岩的岩石化学成分、微量元素及稀土元素进行了系统测定。岩体的 SiO_2 平均含量为 67.77%, 略低于同处一个构造岩浆岩带的 NE 端紫荆关王安镇石英正长岩体(68.78%)。麻棚岩体稀土元素总量较高,介于 $136.41 \times 10^{-6} \sim 167.45 \times 10^{-6}$ 之间,稀土元素配分曲线为右倾斜型。LREE/HREE 比值介于 12.50~18.75 之间,平均 16.07,属轻稀土元素富集、重稀土元素亏损型。综合麻棚岩体岩石学、微量元素及稀土元素特征研究认为,麻棚岩体的成因类型为 I 型花岗岩。

关键词:微量元素 稀土元素 花岗岩 麻棚岩体 石湖金矿

中图分类号: P588.12⁺1; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)02-0113-08

Petrogeochemical characteristics of the intrusive bodies of Mapeng granitoids in western Hebei

XI Chao-zhuang, DAI Ta-gen, LIU Wei and ZHANG Hui-jun

(School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on a study of Mapeng rock mass in the Shihu gold deposit, this paper made a systematic determination on the petrochemical composition, trace elements and rare earth elements of the porphyritic granite, granodiorite and quartz diorite respectively. The SiO_2 of rock mass averages 67.77%, slightly lower than that of Wang'an zhen quartz syerite of Zijingguan in the northeast, which belongs to the same structural magmatic belt. The total REE of Mapeng rock mass are relatively high, which range from 136.41×10^{-6} to 167.45×10^{-6} . The REE distribution pattern inclines toward the right. The LREE/HREE value ranges from 12.50 to 18.75, averaging 16.07. It is characterized by obvious enrichment of light REE and depletion of heavy REE. From characteristics of petrology, trace elements and rare earth elements of Mapeng rock mass, the authors have reached the conclusion that the Mapeng rock mass is I-type granite.

Key words: trace element; rare earth element; granite; Mapeng rock mass; Shihu gold deposit

关于石湖金矿床成矿地质背景、矿床地质特征、矿床成因、成矿规律以及找矿预测等方面,前人多年的研究工作积累了丰富的科研成果(张亚雄等, 1996; 喻学惠等, 1996; 韩进朝, 1997; 牛树银等, 2002), 提出了一系列的认识与看法, 对当时正处于勘查期的石湖金矿床的勘查工作起到了积极的指导作用。但总的来说, 对石湖金矿的研究程度不高, 因

为前人的研究工作大多处在勘查期, 揭露面不广, 加之测试技术手段有限, 难免存在纰漏和不足之处, 诸如大地构造演化、成矿物质来源、矿床成因、矿床地球化学特征以及矿体的赋存规律等方面还有待进一步研究。本文利用新的测试手段对石湖金矿麻棚花岗岩类侵入岩体进行了主元素和微量元素、稀土元素的系统分析测定, 并重点讨论了麻棚岩体的地

收稿日期: 2007-10-08; 修订日期: 2008-01-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(2004BA615-02)

作者简介: 息朝庄(1979-), 男, 博士研究生, 从事应用地球化学研究工作。

球化学特征及成因,这将有助于推动该区的侵入岩研究工作。

1 地质概况

研究区出露的地层为太古宙阜平群中、高级变质岩系(图1)。阜平群变质岩石类型以黑云斜长片麻岩、浅粒岩为主,并与斜长角闪岩、大理岩等构成多个旋回。原冶金520队对阜平群变质岩的原岩类

型和组合特征做了大量研究,认为阜平群变质岩系的原岩为一套前地槽型浅海相碳酸盐-碎屑岩沉积建造,夹中基性火山熔岩及硬砂岩,阜平群下部层位碎屑锆石等时线年龄为2 800~2 900 Ma(转引自刘伟等,2006^①)因此其地层沉积应属晚太古代。

区内构造以早期EW向复式褶皱和晚期NW、SN、NE以及少量的EW向断层为格架。①褶皱构造 矿区位于陈庄复向斜的NE翼,褶皱轴向自E向W由近EW向逐渐转为NW向,特别是在赤瓦屋-

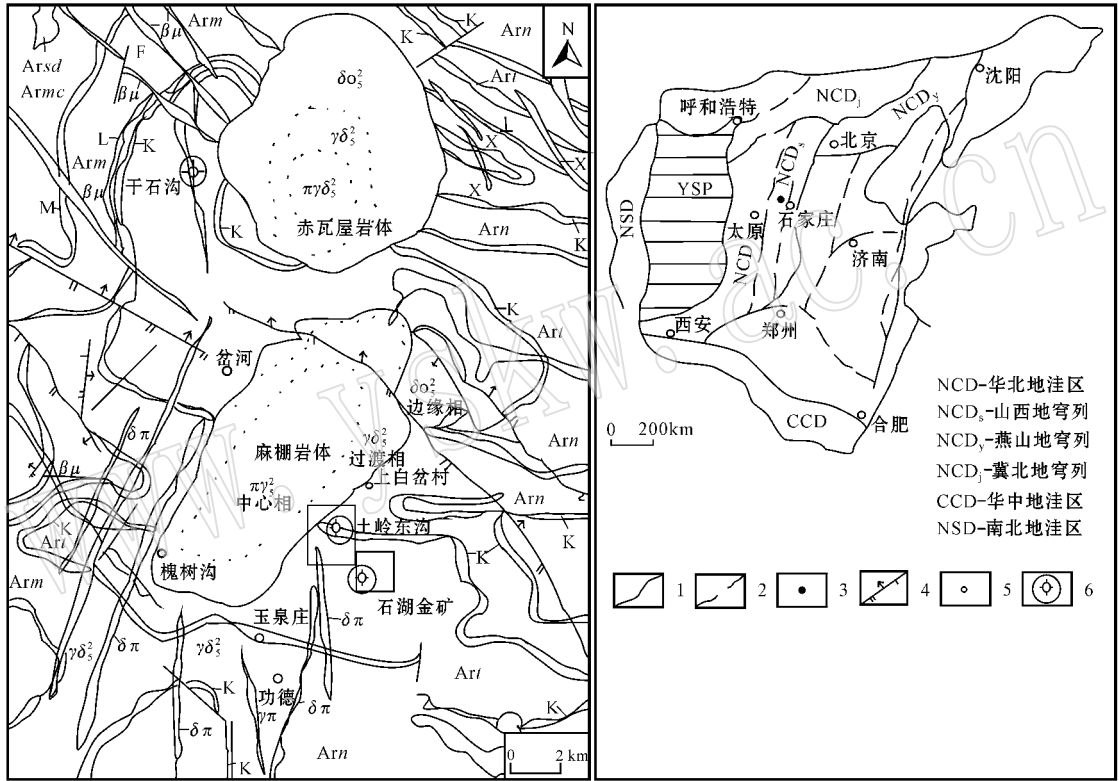


图1 石湖金矿区域地质图[据宋瑞先等(1994)修编]

Fig. 1 Regional geological map of the Shihu gold deposit (modified after Song Ruixian et al., 1994)

Arasd—阜平群四道河组; Armc—阜平群木厂组; Arm—阜平群漫山组; Arn—阜平群南营组; Art—阜平群团泊口组; Ars—阜平群索家庄组; M—漫山组顶部标志层; L—南营组顶部标志层; K—团泊口组顶部标志层; $\gamma\pi$ —花岗斑岩脉; X—煌斑岩脉; $\delta\pi$ —闪长斑岩脉; $\beta\mu$ —辉绿岩脉; δo_2 —石英闪长岩; $\gamma\delta_2$ —花岗闪长岩; $\pi\gamma\delta_2$ —斑状花岗闪长岩; $\pi\gamma_2$ —斑状花岗岩; 1—二级构造单元分界线; 2—断裂; 3—石湖金矿床位置; 4—断层; 5—金矿点; 6—金矿床

Arasd—gneiss of Sidaohe Formation of Archean Fuping Group; Armc—gneiss of Muchang Formation of Archean Fuping Group; Arm—gneiss of Manshan Formation of Archean Fuping Group; Arn—gneiss of Nanying Formation of Archean Fuping Group; Art—gneiss of Tuanpokou Formation of Archean Fuping Group; Ars—gneiss of Suojiazhuang Formation of Archean Fuping Group; M—marker bed at the top of Manshan Formation; L—marker bed at the top of Nanying Formation; K—marker bed at the top of Tuanpokou Formation; $\gamma\pi$ —granite porphyry vein; X—lamprophyre vein; $\delta\pi$ —diorite porphyry vein; $\beta\mu$ —diabase vein; δo_2 —quartz diorite; $\gamma\delta_2$ —granodiorite; $\pi\gamma\delta_2$ —porphyritic granodiorite; $\pi\gamma_2$ —porphyritic granite; 1—second-order tectonic unit; 2—fracture; 3—location of Shihu gold deposit; 4—fault; 5—gold ore spot; 6—gold ore bed

① 刘伟,戴塔根. 2006. 河北石湖金矿成矿规律及深部找矿预测研究(科研报告).

麻棚一带褶皱轴弯曲向 SW 突出,并被后期的 NW 向断裂斜切,成为后期岩浆和成矿热液活动的有利区域构造组合。②断裂构造:除阜平期及五台-吕梁运动形成的与褶皱轴向一致或 NE 向斜切少数韧性断层外,区域内主要与成岩成矿关系密切的断裂是燕山期通过赤瓦屋和麻棚两大岩体的北冶-麻棚-杨家庄 NE 向中酸性岩浆岩带所构成的断裂带,该断裂带长达数百公里,宽数十公里,为区域上最重要的控岩控矿断裂构造。燕山期构造-岩浆活动强烈,在区内形成了沿区域北冶-麻棚-杨家庄深大断裂(实际上为紫荆关断裂的一部分)侵入的赤瓦屋、麻棚两大花岗岩体和一系列与岩体有关的不同岩性的岩脉(图 1)。同时,在区域上还发育有 NNE、NNW 和近 SN 向的辉绿岩、闪长斑岩、煌斑岩、石英闪长玢岩等各类岩脉,其中石英闪长玢岩脉与金矿体紧密伴生。

麻棚岩体位于石湖金矿区西北部,出露面积 64.5 km²,沿 NNE 向北冶-麻棚-杨家庄深大断裂侵入,空间上呈岩株状,与阜平群地层成侵入接触,接触带外倾。前人(喻学惠等,1996;张亚雄等,1996;韩进朝,1997;牛树银等,2002;刘伟等,2007)对麻棚岩体已做了较多的研究工作,据原冶金 520 队 K-Ar 法同位素测年分析,岩体的生成年龄为 145 Ma,侵位时代为晚侏罗世,属燕山期产物(刘伟等,2006^①)。岩体内部带明显,从岩体中心向两侧依次可分为中心相(斑状花岗岩)、过渡相(花岗闪长岩)和边缘相(石英闪长岩)(图 2)。

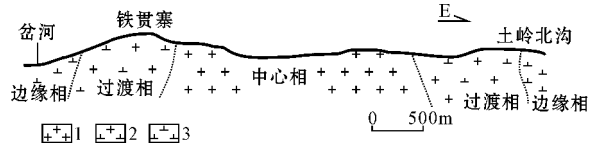


图 2 麻棚岩体相带划分剖面图

Fig. 2 Geological section showing petrofacies division in Mapeng intrusion

1—斑状花岗岩 2—花岗闪长岩 3—石英闪长岩

1—porphyritic granite; 2—granodiorite; 3—quartz diorite

2 岩石学特征

2.1 中心相(斑状花岗岩)

笔者在靠近土岭和石湖矿段的中心相带上采集

了 3 件样品,记为 Z7、Z8、Z9。岩石呈粉红色至肉红色。据薄片观察,岩石结构以似斑状结构为主,块状构造。斑晶主要为钾长石(20%)斜长石(30%)石英(30%)黑云母,基质主要为细粒长石、石英(图 3),其中钾长石具卡氏双晶,斜长石、黑云母分别出现绢云母化和绿泥石化。次要矿物则为角闪石,副矿物为锆石。岩性单一,在大面积内未见变化。

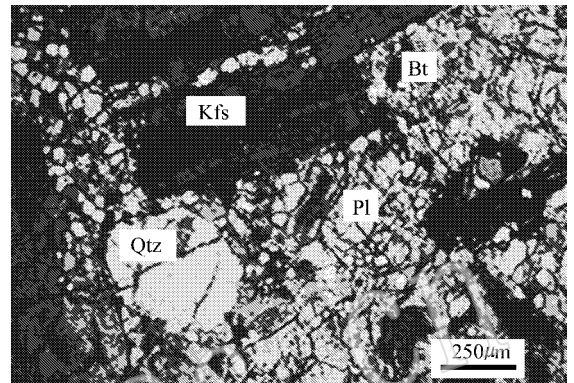


图 3 斑状花岗岩(中心相)显微照片(正交偏光)

Fig. 3 Microphotograph of porphyritic (central phase) granite (crossed polarizing)

Kfs—钾长石 Qtz—石英 Pl—斜长石 Bt—黑云母

Kfs—K-feldspar Qtz—quartz Pl—plagioclase Bt—biotite

2.2 过渡相(花岗闪长岩)

花岗闪长岩呈粉红色至灰白色,粗粒似斑状结构,块状构造,主要由钾长石(25%)斜长石(35%)石英(25%)黑云母、角闪石及副矿物榍石、磷灰石组成。岩性均一,在大范围内无明显变化,其中常见有细晶岩脉和伟晶岩脉,局部地段有矿化石英脉及黄铁矿化,析离体也常见。

2.3 边缘相(石英闪长岩)

呈灰至灰白色,中粒半自形结构,块状构造。主要矿物成分为斜长石(35%)角闪石(20%)黑云母,次要矿物为磷灰石及榍石。出露宽度不一,从 0~150 m 不等。

3 岩石化学特征

3.1 主量元素特征

本文对所采 3 件样品进行了岩石化学分析,所得数据同前人分析数据一并列于表 1,相应的 CIPW 标准矿物和主要参数计算见表 2。岩石化学分析数

① 刘伟,戴塔根,2006.河北石湖金矿成矿规律及深部找矿预测研究(科研报告).

w_B/%

表1 麻棚岩体岩石化学分析数据及对比表

Table 1 Petrochemical analytical data and comparison results of Mapeng intrusion

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
岩石名称	斑状花岗岩(Z7)	斑状花岗岩(Z8)	斑状花岗岩(Z9)	斑状花岗岩	斑状花岗岩	斑状花岗岩	斑状花岗岩	斑状花岗岩	花岗岩 闪长岩	花岗岩 闪长岩	花岗岩 闪长岩	花岗岩 闪长岩	花岗岩 闪长岩	花岗岩 闪长岩	石英 闪长岩	麻棚岩体 平均值	王安镇 石英 正长岩体	中国 酸性岩 平均值	世界 花岗岩 平均值
SiO ₂	68.86	68.46	68.53	68.96	69.42	68.42	71.55	69.17	69.12	69.44	69.30	69.29	59.25	61.96	60.61	67.77	68.78	70.40	71.30
TiO ₂	0.36	0.37	0.34	1.10	1.68	0.30	0.23	0.63	0.25	0.25	0.45	0.32	0.69	0.50	0.60	0.54	0.52	0.31	0.31
Al ₂ O ₃	15.33	15.33	15.35	14.45	14.45	14.78	13.81	14.79	14.68	14.66	14.20	14.51	15.93	15.89	15.91	14.91	13.62	14.48	14.32
Fe ₂ O ₃	1.63	1.93	1.76	2.61	1.00	1.38	0.64	1.56	0.86	0.91	1.34	1.04	2.38	1.80	2.09	1.52	2.52	1.38	1.21
FeO	1.38	1.25	1.32	1.10	1.68	2.34	3.05	1.73	2.92	2.60	2.47	2.66	4.81	4.36	4.59	2.44		1.77	1.64
MnO	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05	0.08	0.03	0.06	0.05	0.04	0.10	0.06	0.12	0.09	0.11	0.07	0.04	0.05	0.05
MgO	0.94	1.03	0.98	1.12	0.85	0.73	0.65	0.9	0.97	0.92	0.83	0.91	2.95	2.43	2.69	1.20	0.73	0.96	0.71
CaO	2.15	2.05	2.08	2.71	2.43	2.12	1.32	2.12	2.35	2.35	2.17	2.29	5.08	4.80	4.94	2.63	1.14	1.93	1.84
Na ₂ O	3.98	4.00	4.03	3.89	3.83	4.72	4.09	4.08	3.95	3.80	3.87	3.87	3.93	3.75	3.84	3.99	5.52	3.77	3.68
K ₂ O	3.35	3.76	3.58	4.05	4.31	4.20	4.05	3.9	4.20	4.30	4.41	4.30	3.03	3.35	3.19	3.88	6.49	3.79	4.07
P ₂ O ₅	0.92	0.14	0.42	0.15	0.14	0.17	0.10	0.29	0.12	0.12	0.14	0.13	0.13	0.21	0.17	0.23	0.18	0.18	0.12
烧失量	0.92	0.83	0.87		0.62	0.17	0.68	1.00	0.27	0.71	0.66	0.92	0.13	0.53	0.64	0.64			
总量	99.90	99.21	99.32	100.19	99.84	99.86	99.69	99.72	100.47	99.66	99.99	100.04	99.22	99.27	99.25	99.18	100.18		

资料来源:1~3号样品为本文测试,4~17号样品引自刘伟等(2006)^①,18号引自黎彤等(1998),19号引自武汉地质学院岩石教研室(1980)。

① 刘伟,戴塔根. 2006. 河北石湖金矿成矿规律及深部找矿预测研究(科研报告).

据显示,麻棚岩体具有以下特征:

(1) 岩体 SiO_2 的平均含量为 67.77%, 略低于同处一个构造岩浆岩带的 NE 端紫荆关王安镇石英正长岩体(68.78%)(蔡剑辉等, 2006), 这和蔡剑辉等(2006)研究得出的紫荆关构造岩浆岩带由南至北 SiO_2 含量呈增高的变化规律一致, 与中国酸性岩(70.4%)及世界花岗岩(71.3%)(刘本立, 1994)比较相对较低。而 Al_2O_3 含量(14.91%)则高于王安镇岩体(13.62%), 这也和蔡剑辉等(2006)研究得出的紫荆关构造岩浆岩带由南至北 Al_2O_3 含量呈降低的变化规律一致, 略高于中国酸性岩(14.48%)和世界花岗岩(14.32%)平均值。麻棚岩体的 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 值为 7.87%, 与世界花岗岩(7.75%)及中国酸性岩(7.56%)的平均值基本一致, 但低于王安镇岩体的值(12.01%); 岩体的 $\text{FeO} + \text{MgO} + \text{CaO}$ 值为 6.27%, 略高于中国酸性岩平均值(4.66%)和世界花岗岩平均值(4.19%)。

(2) 经计算, 麻棚岩体里特曼指数 σ 平均值为 2.50, 岩石碱度指数 AR 平均值为 2.63, 应属钙碱性岩, 岩石的化学类型属铝过饱和- SiO_2 过饱和型。

(3) 岩体中心相和过渡相分异指数 DI 值较高, 达 81 以上, 而固结指数 SI 值较低, 为 8 以下, 两者反映了麻棚岩体中心相和过渡相经过了长时间的演化和具有良好的结晶分异作用, 是岩浆演化至晚期阶段的产物。

(4) 氧化率指标是岩浆冷凝条件和剥蚀程度的判断标志。氧化率的研究通常采用 2 个参数: 一个是岩石实际氧化率 OX^0 , 另一个是岩石的标准氧化率 OX (喻学惠等, 1996)。据公式计算, Z7 号样 $OX^0 = 0.54$, $OX = 0.75$, $OX^0/OX = 0.72$; Z8 号样 $OX^0 = 0.61$, $OX = 0.75$, $OX^0/OX = 0.81$; Z9 号样 $OX^0 = 0.57$, $OX = 0.75$, $OX^0/OX = 0.91$ 。3 个样品 OX^0/OX 比值在 0.72~0.91 之间, 均小于 1, 反映麻棚岩体遭受了程度较低的氧化和剥蚀。

表 2 麻棚岩体岩石化学计算结果

Table 2 Petrochemical calculation results of Mapeng intrusion

	斑状花岗岩 (中心相)	花岗闪长岩 (过渡相)	石英闪长岩 (边缘相)	麻棚岩体平均值	王安镇岩体平均值 (蔡剑辉等, 2006)	世界花岗岩平均值 (刘本立, 1994)
Ap	2.35	0.34	1.35	1.35	0.36	0.14
Il	0.76	0.76	0.76	0.76	1.03	0.4
Mt	2.55	2.78	2.55	2.63	2.27	1.6
Or	20.03	22.26	21.15	21.15	22.29	23.9
Ab	33.56	34.08	33.56	33.40	32.95	30.9
An	5.01	9.45	6.95	7.14	12.7	8.1
Hy	2.90	2.87	2.84	2.87	7.21	3.6
Q	30.21	24.86	26.43	27.17	17.74	29.2
σ	2.08	2.37	2.27	2.24	2.65	
DI	83.80	81.20	71.14	78.71		84
SI	8.33	8.60	8.40	8.44		6.3
AR	2.44	2.61	2.55	2.53	2.41	

Ap—磷灰石, Il—钛铁矿, Mt—硅酸钠, Or—钾长石, Ab—钠长石, An—钙长石, Hy—紫苏辉石, Q—石英。

3.2 微量元素特征

选取麻棚岩体中心相的 2 件样品进行微量元素分析, 分析结果和主要参数列于表 3。从表 3 可以看出, 麻棚岩体的微量元素具有如下特征:

(1) 本文 2 件样品结合张亚雄等(1994)的分析结果, Au 平均含量为 0.0531×10^{-6} , 但喻学惠等(1996)的 297 件样品的 Au 含量平均分析结果为 0.0015×10^{-6} , 后一结果应更具代表性, 反映了麻棚岩体含 Au 性较差。

(2) Ni 、 Co 平均含量分别为 12.5×10^{-6} 、 12.0×10^{-6} , 略高于世界酸性花岗岩平均值(8.0×10^{-6} 、 5.0×10^{-6}), 但远低于王安镇岩体的平均值(72.1×10^{-6} 、 25.2×10^{-6}), 反映岩体侵入时有深源物质的加入。

(3) 岩体中亲硫成矿元素 Cu 、 Pb 、 Zn 含量分别为 18.2×10^{-6} 、 28.8×10^{-6} 、 219.3×10^{-6} , 与世界酸性花岗岩相比, 其富集系数分别为 0.9、1.5 和 5.0 倍, Cu 略显亏损, 表明岩体相对富集了部分成矿元素。

表 3 麻棚岩体微量元素分析结果及特征参数

$w_B/10^{-6}$

Table 3 Analytical results and characteristic parameters of trace elements

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样品	斑状 花岗岩	斑状 花岗岩	斑状 花岗岩	斑状 花岗岩	斑状 花岗岩	花岗 闪长岩	石英 闪长岩	麻棚 平均值	王安镇 岩体平均值	世界花岗岩 平均值
Au	0.062	0.050	0.043	0.014 6	0.171	0.007	0.024	0.053 1		0.004 5
Ag	1.5	1.4	0.4	6.2	4.9	2.4	0.1	2.8		0.1
Rb			104.4			102	62.2	89.5	225.9	200
Sr			761.2	54.4	654.9	627	906.5	600.8	333.9	300
Ba			1 542	359	1 434	1 482	1 568	1 477	1 105.7	830
Cu	16.7	18.9	3.6	23	22.9	9.1	22.4	18.2		20
Co	2.4	5.9	9.8	8.6	5.2	11.8	24.4	12	25.2	5.0
Ni	5.8	12.5	9.5	10.3	6.1	11.1	25.7	12.5	72.1	8.0
Zr			163			174	171	169.3	366.3	200
Hf			3.3			3.6	2.9	3.3	5.3	1
Nb			9.3			9	7.9	8.7	17.5	20
Ta			0.8			1.1	0.8	0.9	0.6	3.5
F			8.3			583	599	396.8		800
Zn	191.1	247.5						219.3		60
Sn	8.7	3.2						5.95		3
Pb	29	28.6						28.8		20
Cr	3.5	14						8.7	189.7	25.0
Rb/Sr			0.14			0.16	0.07	0.12	0.68	0.67
Ba/Sr			2.03			2.36	1.73	2.04	3.31	2.77
Zr/Hf			49.39			48.33	58.97	52.23	68.69	200
Nb/Ta			11.48			8.33	10.53	10.11	27.68	5.71

资料来源 :1~2 号样品为本文分析,3~8 号样品引自张亚雄等(1994),9 号引自蔡剑辉等(2006),10 号引自刘本立(1994)。

(4) Nb/Ta 比值高于世界花岗岩,Nb 的富集高于 Ta 的富集程度;Rb/Sr 比值为 0.12,较世界花岗岩平均值(0.67)低很多,表明岩浆来源较深。

(5) Sr、Ba、Rb 等大离子亲石元素的迁移性能灵敏地反映岩浆作用的特点。Sr、Ba、Rb 的平均丰度分别为 600.8×10^{-6} 、 $1 477 \times 10^{-6}$ 、 89.5×10^{-6} ,反映麻棚岩体以富含碱金属 Sr、Ba,而贫岩浆演化晚阶段的碱金属 Rb 为特征。高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 平均丰度分别为 8.7×10^{-6} 、 0.9×10^{-6} 、 169.3×10^{-6} 、 3.3×10^{-6} ,与王安镇岩体相比,除 Ta 外,其余均明显出现亏损,与世界花岗岩相比,Zr、Nb、Ta 亏损,略富 Hf。

3.3 稀土元素特征

麻棚岩体稀土元素总量较高(表 4、图 4),介于 $136.41 \times 10^{-6} \sim 167.45 \times 10^{-6}$ 之间,平均 153.17×10^{-6} 。稀土配分曲线一致向右倾斜,曲线之间呈现近于平行的特征。LREE/HREE 比值介于 12.50~18.75 之间,平均 16.07,属轻稀土元素富集、重稀土元素亏损型。反映轻重稀土分离程度的 $(La/Yb)_N$ 比值介于 16.62~26.84 之间,平均 22.67,应属轻重

表 4 麻棚岩体稀土元素组成及特征参数表 $w_B/10^{-6}$

Table 4 REE and characteristic parameters of Mapeng intrusion

样号	intrusion			
	Z8	Z9	1#	2#
岩性	斑状	斑状花岗岩	花岗闪长岩	石英闪长岩
La	40.62	34.57	34.24	35.50
Ce	68.67	61.22	74.93	74.54
Pr	7.87	7.19	6.93	7.01
Nd	21.55	20.41	26.28	30.85
Sm	4.50	4.20	4.38	5.65
Eu	1.33	1.25	1.01	1.50
Gd	4.21	3.24	3.18	4.66
Tb	0.48	0.41	0.30	0.46
Dy	1.60	1.32	1.90	3.24
Ho	0.39	0.36	0.35	0.65
Er	1.16	1.00	0.85	1.42
Tm	0.17	0.15	0.13	0.21
Yb	1.10	0.95	0.86	1.44
Lu	0.15	0.15	0.31	0.32
∑REE	153.81	136.41	155.65	167.45
LREE	144.54	128.83	147.77	155.05
HREE	9.27	7.58	7.88	12.40
LREE/HREE	15.60	17.00	18.75	12.50
$(La/Yb)_N$	25.01	24.56	26.84	16.62
δEu	0.81	0.89	0.71	0.77

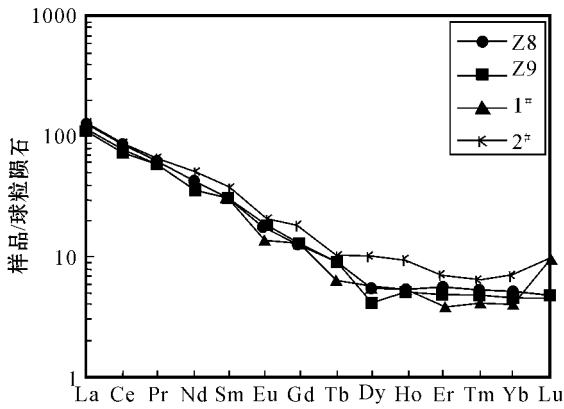


图 4 麻棚岩体稀土元素配分模式图(样号同表 4)

Fig. 4 REE distribution patterns of Mapeng intrusion (sample serial number as for Table 4)

稀土元素弱至中等分离型。 δEu 在 0.71~0.89 之间,平均 0.79,仅显示微弱的负铕异常。麻棚岩体稀土元素特征与我国壳幔型花岗岩(王中刚等,1989)相似,其成因类型为 I 型花岗岩。

4 岩体成因

利用表 1 中麻棚岩体的 12 个化学全分析结果进行岩体成因判别,按 Raju 等人(武汉地质学院岩石教研室,1980)的结论,麻棚岩体属岩浆花岗岩成因(图 5)按徐克勤(1964)的分类应属 I 型花岗岩。据傅朝义(1999),麻棚岩体全岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.705 9 和 0.706 8,高于幔源平均 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.703 7),低于地壳平均 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.719) (卢武长,1986),也反映了该岩体具壳幔混合源的特征。此外,据杨殿范等(1991)研究,麻棚岩体中黑云母具有高 TiO_2 、 MgO ,低 Al_2O_3 、 FeO 的特征,从边缘相到中心相黑云母特征吸收峰位置向波数较大的方向移动,而特征峰强度逐渐加大,说明其成因类型为 I 型。因此,综合研究认为,麻棚岩体的成因类型为 I 型花岗岩。

5 结论

(1) 岩石里特曼指数(σ)平均值为 2.50,岩石碱度指数(AR)平均值为 2.63,应属钙碱性岩,岩石的化学类型属铝过饱和- SiO_2 过饱和型;岩体中心相和过渡相分异指数(DI)值较高,达 81 以上,而固结指数(SI)值较低,为 8 以下,两者反映了麻棚岩体中

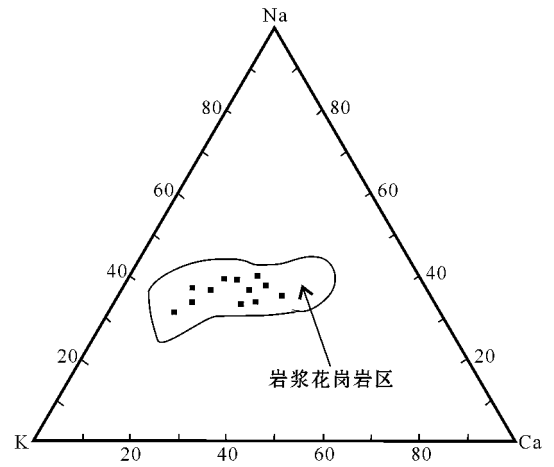


图 5 岩浆花岗岩与交代花岗岩的 Ca-Na-K 投影图(转引自武汉地质学院岩石教研室,1980)

Fig. 5 Ca-Na-K projection drawing of magmatic granite and metasomatic granite (after Raju *et al.* from Rock Teaching and Research Section, Wuhan College of Geology, 1980)

心相和过渡相经过了长时间的演化和良好的结晶分异作用,是岩浆演化至晚期阶段的产物;3 个样品的 OX^0/OX 比值在 0.72~0.91 之间,均小于 1,说明麻棚岩体遭受了程度较低的氧化和剥蚀。

(2) 本文 2 件样品和张亚雄等(1994)分析的 Au 平均含量为 $0.053 1 \times 10^{-6}$,但从样品的数量和分布来看,喻学惠等(1996)的测试结果应更具代表性(297 件样品,Au 平均含量为 $0.001 5 \times 10^{-6}$),反映了麻棚岩体含 Au 性较差。

(3) 麻棚岩体稀土元素总量较高,介于 $136.41 \times 10^{-6} \sim 167.45 \times 10^{-6}$ 之间,平均 153.33×10^{-6} ,稀土元素配分曲线一致向右倾斜,曲线之间呈现近于平行的特征,LREE/HREE 比值介于 12.50~18.75 之间,平均 15.96,属轻稀土元素富集、重稀土元素亏损型。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值介于 16.62~26.84 之间,平均 22.67,应属轻重稀土元素弱-中等分离型。 δEu 在 0.71~0.89 之间,平均 0.79,仅显示微弱的负铕异常。

(4) 综合麻棚岩体岩石学、微量元素及稀土元素特征研究认为,麻棚岩体的成因类型为 I 型花岗岩。

References

- Cai Jianhui, Yan Guohan, Xu Baoliang, *et al.* 2006. The late Mesozoic alkaline intrusive rocks at the east foot of the Taihang-Da Hinggan Mountains: Lithogeochemical characteristics and their implications

- [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(5):447~459 (in Chinese with English abstract).
- Fu Chaoyi. 1999. The Metamorphic Core Complexes and Its Gold Deposits in Hebei Province [D]. Changsha: Central South University (in Chinese with English abstract).
- Han Jinchao. 1997. Analysis on structural control condition of Tuling-Shihu gold deposit in Hebei Province [J]. *Gold*, 18(8):7~10 (in Chinese).
- Li Tong, Yuan Huaiyu and Wu Shengxi. 1998. On the average chemical composition of granitoids in China and the world [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 22(1):29~34 (in Chinese with English abstract).
- Liu Benli. 1994. Basis of Geochemistry [M]. Beijing: Beijing University Press, 1~167 (in Chinese).
- Liu Wei, Dai Tegen, Fu Wenjie, et al. 2007. Characteristics of ore-forming fluids of the Shihu gold deposit, western Hebei [J]. *Geology in China*, 34(2):335~341 (in Chinese with English abstract).
- Lu Wuzhang. 1986. Stable Isotope Geochemistry [M]. Chengdu: Chengdu Geology Institute Press, 1~334 (in Chinese).
- Niu Shuyin, Li Hongyang, Sun Aiqun, et al. 2002. Mantle Branch Structure Theory and Exploration Practice [M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Rock Teaching of Wuhan Geology Institute. 1980. Magmatic Rock Petrology [M]. Beijing: Geology Press, 1~116 (in Chinese).
- Song Ruixian, Wang Youzhi, Wang Zhenpeng, et al. 1994. Gold Geology of Hebei [M]. Beijing: Geological Publishing House, 9~319 (in Chinese).
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. 1989. REE Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1~495 (in Chinese).
- Yang Dianfan, Liu Rongfang, Li Gaoshan, et al. 1991. The geochemical characteristics of the Tuling and Shihu gold mines in the Taihang mountain area and the indicators for prospecting for mineral deposits [J]. *Geology of Jilin*, 4:70~78 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xuehui, Ren Jianye and Zhang Junxia. 1996. Cu-Au Metallogenic Conditions and Prospecting Direction in the Middle Section of Taihang Mountain [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Yaxiong, Chen Songling, Peng Shenglin, et al. 1996. Study on the gold ore structural controlling over TS ore-field, Lingshou, Hebei Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 20(1):71~80 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yaxiong and Hu Xiangzhao. 1994. Research on the characteristics of Mapeng granitic intrusion and its contribution to the gold ore metallogeny [J]. *Journal of Central—South Institute of Mining and Metallurgy*, 25(3):275~281 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡剑辉, 阎国翰, 许保良, 等. 2006. 太行山-大兴安岭东麓晚中生代碱性侵入岩岩石地球化学特征及其意义 [J]. *地球学报*, 27(5):447~459.
- 傅朝义. 1999. 河北省变质核杂岩及其金矿床 [D]. 长沙: 中南大学.
- 韩进朝. 1997. 河北省土岭-石湖金矿区构造控矿条件分析 [J]. *黄金*, 18(8):7~10.
- 黎彤, 袁怀雨, 吴胜昔. 1998. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均化学成分对比研究 [J]. *大地构造与成矿学*, 22(1):29~34.
- 刘本立. 1994. *地球化学基础* [M]. 北京: 北京大学出版社, 1~167.
- 刘伟, 戴塔根, 傅文杰, 等. 2007. 冀西石湖金矿成矿流体特征 [J]. *中国地质*, 34(2):335~341.
- 卢武长. 1986. *稳定同位素地球化学* [M]. 成都: 成都地质学院, 1~334.
- 牛树银, 李红阳, 孙爱群, 等. 2002. *幔枝构造理论与找矿实践* [M]. 北京: 地震出版社.
- 宋瑞先, 王有志, 王振彭, 等. 1994. *河北金矿地质* [M]. 北京: 地质出版社, 9~319.
- 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 1989. *稀土元素地球化学* [M]. 北京: 科学出版社, 1~495.
- 武汉地质学院岩石教研室. 1980. *岩浆岩岩石学* [M]. 北京: 地质出版社, 1~116.
- 徐克勤. 1964. *矿床学* [M]. 北京: 地质出版社.
- 杨殿范, 刘荣访, 李高山, 等. 1991. 太行山区土岭-石湖金矿区地球化学及其找矿标志 [J]. *吉林地质*, 4:70~78.
- 喻学惠, 任建业, 张俊霞. 1996. 太行山中段铜-金成矿条件及找矿方向 [M]. 北京: 地质出版社.
- 张亚雄, 陈松岭, 彭省临, 等. 1996. 河北灵寿县土岭-石湖金矿田控矿构造研究 [J]. *大地构造与成矿学*, 20(1):71~80.
- 张亚雄, 胡祥昭. 1994. 麻棚岩体特征及其与金矿成因关系研究 [J]. *中南矿冶学院学报*, 25(3):275~281.