

# 哀牢山南段长安金矿床岩浆岩的岩石学特征及其与成矿关系探讨\*

张静 邓军 李士辉 燕旒 杨立强 马楠 王庆飞 龚庆杰

ZHANG Jing, DENG Jun, LI ShiHui, YAN Ni, YANG LiQiang, MA Nan, WANG QingFei and GONG QingJie

中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2010-04-02 收稿, 2010-05-10 改回.

Zhang J, Deng J, Li SH, Yan N, Yang LQ, Ma N, Wang QF and Gong QJ. 2010. Petrological characteristics of magmatites and their relationship with gold mineralization in the Chang'an gold deposit in southern Ailaoshan metallogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6):1740–1750

**Abstract** The Chang'an large gold deposit is located in the southern Ailaoshan metallogenic belt. There are lamprophyre, gabbro, dolerite, syenogranite and syenogranite porphyry stocks or dykes. The ore bodies and dykes occur together or cut each other. The studies on geological and geochemical characteristics of the magmatic rocks and ores show that they might be sourced from the same origin and there should be closer relationship between lamprophyre, dolerite and mineralization. The metallogenic materials were mainly from mantle as well as strata, and the ore-forming fluid was sourced from magmatic water and metamorphic water. During the collisional orogenesis process in Himalayan period, the violent complex crust-mantle interaction caused the magma and fluid activities in Ailaoshan region. The ascent of large scale alkali-rich magma drove the magma fluid circulate and mixed with the metamorphic CO<sub>2</sub>-rich water. The mixed fluid extracted gold and other metallogenetic elements from the wall rock or dyke, migrated and finally precipitated them in the proper structural spaces under some physical-chemical condition.

**Key words** Magmatite; Rock geochemistry; Chang'an gold deposit; Ailaoshan metallogenic belt; Sanjiang Tethys

**摘要** 长安大型金矿床位于哀牢山成矿带南段, 矿区内出露煌斑岩、辉长岩、辉绿岩、正长花岗岩、正长花岗斑岩等岩株和岩脉, 矿体均与脉岩共生或相互切穿。各类岩浆岩和矿石的地质、岩相学、岩石地球化学的系统研究表明, 矿区内岩浆岩可能为同源岩浆演化产物, 但煌斑岩、辉绿岩与矿化关系更为密切。金成矿物质具有壳幔混源的特点, 成矿流体由岩浆水与地壳变质水混合而成。在喜山期, 强烈的壳幔相互作用过程导致了区内的岩浆和热液活动, 大规模富碱岩浆上侵的热驱使岩浆水循环并与矿区地层在造山作用下脱水产生的富 CO<sub>2</sub> 的变质水混合, 萃取地层及略早形成的脉岩中的 Au 等成矿元素, 在适宜的物理化学条件下和成矿空间内卸载并富集成矿。

**关键词** 岩浆岩; 岩石地球化学; 长安金矿床; 哀牢山成矿带; 三江特提斯

**中图法分类号** P588.13; P618.51

中基性-超基性脉岩与金矿在时空上密切伴生的特殊关系, 很早就引起了地质界的重视, 尤其是高钾-钾质脉岩(如煌斑岩等)与内生金成矿作用有密切的时空关系(Taylor *et al.*, 1993; 孙景贵等, 2000; Williams *et al.*, 2004)。但是, 脉岩与金矿化仅是构造上的巧合, 还是为金成矿提供了“金源”或“热液”? 有关这类脉岩的成因及其与内生金成矿作用的

关系以及两者形成的构造环境的研究已成为当前地质学家所关心的前缘领域之一(Rock and Groves, 1998; 孙景贵等, 2000; Ressel *et al.*, 2000; 綦远江等, 2001; 罗照华等, 2008; Pavlova and Borisenko, 2009)。

三江成矿带的重要组成部分之一——哀牢山成矿带(图1)自晚古生代以来, 构造变动剧烈, 岩浆活动频繁, 发生

\* 本文受国家重点基础研究发展规划项目(2009CB421006)、“111”计划(B07011)和中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室(MSFGPMR201018)联合资助。

第一作者简介: 张静, 女, 1977年生, 博士, 副教授, 主要从事矿床学研究, E-mail: zhangjing@cugb.edu.cn

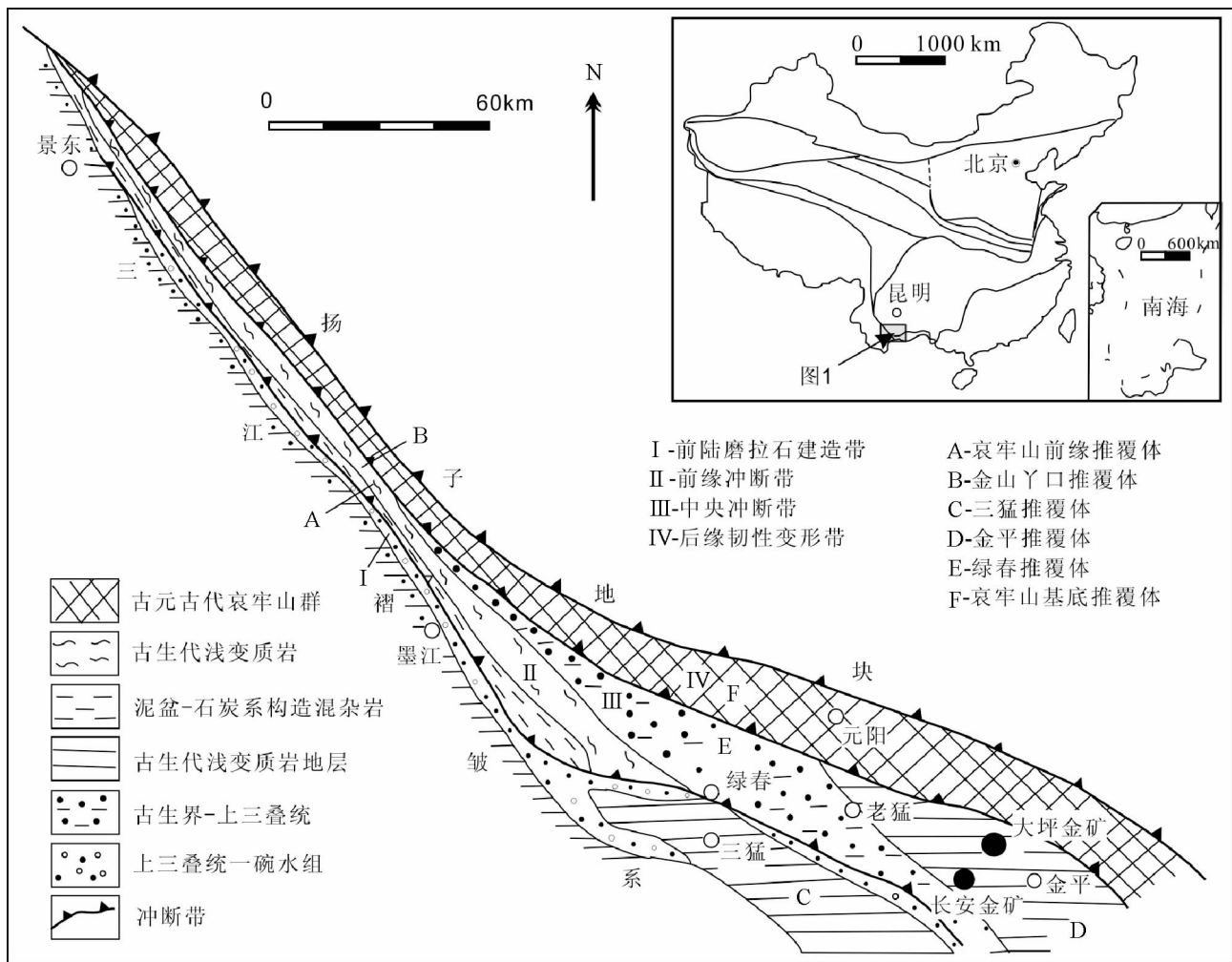


图1 哀牢山推覆构造分带图(据李定谋等,1998 修改)

Fig.1 Zoning map for nappe structure of the Ailaoshan (modified after Li *et al.*, 1998)

了多期次的成矿作用(陈毓川和王登红,2001;杨立强等,2010)。目前,在哀牢山成矿带南段发现了诸多金矿床/点,其中规模最大的为元阳大坪(孙晓明等,2007)和金平长安大型金矿床(应汉龙等,2006),二者均产于金平推覆体(或金平断块)内。长安金矿床发现于2001年,区内脉岩广布,在时空上与金成矿关系密切,但研究程度低,脉岩成因、形成环境及其与金矿化作用的关系等问题仍较含糊、笼统。

基于此,本文以该矿区内的各类岩浆岩为研究对象,对其地质、岩相学、岩石地球化学等方面进行系统深入研究,探讨它们的特征、起源、演化(邓军等,2000,2005)及其与金成矿作用等问题。这不仅可丰富该矿床的研究资料、深化对成矿机制的认识,而且可以推动哀牢山成矿带南段金矿床的理论研究程度。同时,对目前大家关注的脉岩成因与金成矿作用提供研究实例。

## 1 区域及矿床地质

长安金矿处于哀牢山南段,属哀牢山推覆构造带金平推覆

体的中南部,为哀牢山金矿带的一部分。金平推覆体呈楔形夹持于绿春推覆体和哀牢山基底推覆体之间,分别与藤条河大断裂和哀牢山深断裂接壤,矿床位于北西向推覆构造的脆性破碎带中(图1)(李定谋等,1998;和中华等,2008)。

区域构造主要受东部的哀牢山深断裂带和西部的藤条河断裂带控制,这两条边界断裂呈NW向展布,控制了矿区构造线的主导方向,致使区内主要次级断裂多呈NW向展布,并切穿早期的NE向断裂(图1)。

矿区内地层由北至南总体呈现从老到新分布,依次为下奥陶统碎屑岩,中上志留统-下二叠统碎屑岩、碳酸盐岩(图2)。赋矿岩石主要为下奥陶统向阳组碳质泥岩、破碎的粉砂岩、石英细砂岩、石英砾岩等,中上志留统康廊组碎裂白云岩,以及喜山期的辉绿岩与煌斑岩(云南地矿资源股份有限公司,2002<sup>①</sup>)。

① 云南地矿资源股份有限公司. 2002. 云南省金平县长安金矿详查地质报告

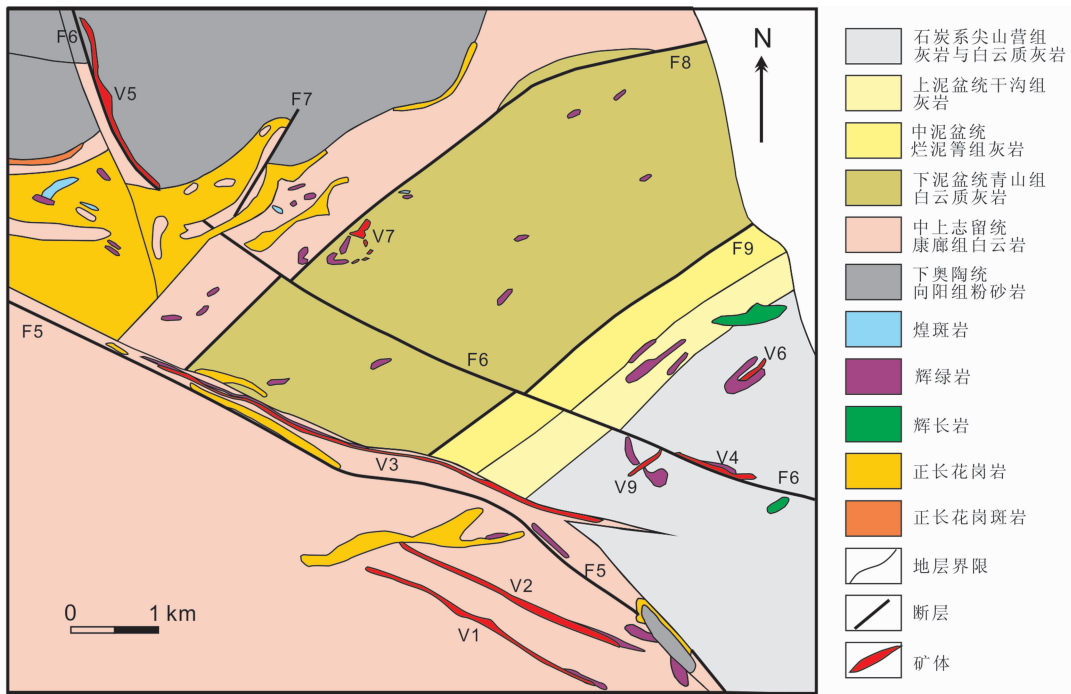


图2 长安金矿床地质简图(据和中华等,2008 修改)

Fig. 2 Geological sketch map of the Chang'an gold deposit (modified after He *et al.*, 2008)

矿区内主要断裂为 F5 和 F6 断裂, F5 (甘河断裂) 贯穿矿区, 总体倾向南, 地表局部倾向北, 倾角  $80^\circ$ 。破碎带内含碎裂白云岩和灰质断层泥, 部分地段具黄铁矿化和金矿化, 初步控制金矿化带长 4500m, 断层泥内含金品位大于  $3\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$ , 为主要的储金断裂(云南地矿资源股份有限公司, 2002)。F6 走向北西, 与 F5 平行, 在矿区北部与志留系和奥陶系之间发育的不整合面重合。F6 断裂及不整合面共同控制的脆性构造破碎带控制了 V5 矿体的产状, 对长安金矿的成矿起着重要作用。

该矿床经工程揭露共发现 9 个矿体。其中, V5 矿体为主要矿体, 产在下奥陶统向阳组一侧的逆冲推覆构造的脆性破碎带中; V3 和 V9 矿体就位于灰岩或白云岩的层间破碎带, 含矿岩石为断层泥、碎裂白云岩。V1、V2 和 V4 矿体赋存于辉绿岩脉体内纵向裂隙中, 矿体与围岩呈渐变过渡关系, 部分呈突变关系(云南地矿资源股份有限公司, 2002)。

矿石类型主要有氧化矿石和原生矿石, 后者常见粉砂岩型矿石、角砾岩型矿石、碎裂白云岩型矿石。金属矿物主要为黄铁矿、毒砂、褐铁矿, 其次为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等。非金属矿物主要为石英、长石、白云石、绢云母等。蚀变类型多样, 但总体上, 硅化、碳酸盐化、石英细脉化和黄铁矿化、毒砂化与金矿化密切相关。

## 2 矿区岩浆岩类型和特征

长安金矿区出露的岩浆岩有煌斑岩、辉长岩、辉绿岩、正

长花岗岩、正长花岗斑岩等。各类岩浆岩多呈脉状、小岩株状产出, 规模大小不一, 小者长度小于 50m, 宽 2~30m, 大者长度可大于 6km, 宽 5~70m。受区域构造格架控制, 它们主要呈 NW、NE、近 EW 三组走向(图 2)。

### 2.1 煌斑岩

煌斑岩呈脉状产出(图 3a), 主要见于 V5 矿体露天剖面处及深部钻孔内, 岩石由斑晶和基质组成, 斑晶为角闪石、黑云母, 基质以长石、石英为主, 其他矿物可见橄榄石、辉石、紫苏辉石、角闪石、基性斜长石等(图 3c)。多数煌斑岩脉体边缘与围岩接触带发育金矿化, 风化后常聚集成残积型金矿。据云南地矿资源股份有限公司(2002)研究, 煌斑岩中黑云母的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $35.62 \pm 0.16\text{Ma}$ (对应的  $^{39}\text{Ar}$  析出量达 95.6%,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  初始比值为  $304 \pm 6$ ),  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  等时线年龄为  $35.27 \pm 0.74\text{Ma}$ 。

### 2.2 辉绿岩和辉长岩

辉绿岩的出露规模较小, 呈脉状产出在  $O_1$  地层中的破碎带内和  $S_{2,3}$  地层中(图 3b)。呈多种方向产出, 依据其展布方向和密集度, 走向主要分两组, 一组是 NW 向, 与地层产状一致, 一组是 NE 向(图 2)。未蚀变的辉绿岩不含金, 经后期热液浸染蚀变的辉绿岩部分含金。多数脉体边缘有细脉状含金矿脉, 与灰岩接触带的风化土壤内常聚集成残积型金矿。如受北西向 F5 甘河断裂影响的蚀变辉绿岩内含工业金矿体, 如 V1、V2 矿体。岩相特征为细-中粒, 暗灰-灰绿色, 具

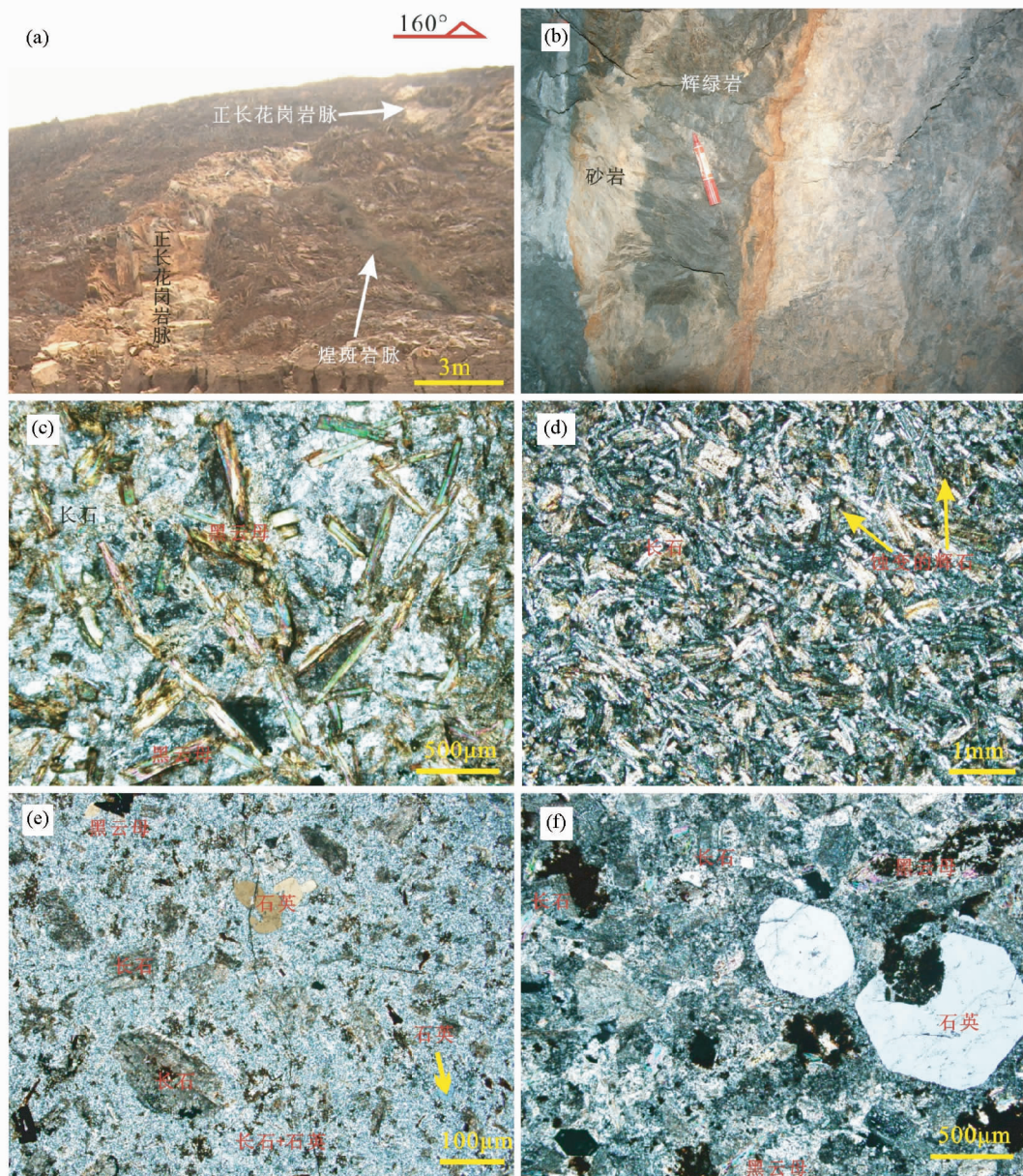


图3 矿区内岩浆岩的岩相学特征

(a)-正长花岗岩脉和煌斑岩脉(V5矿体剖面);(b)-辉绿岩和砂岩接触关系(V5矿体1600m标高的坑道内);(c)-煌斑岩(CA-11,正交偏光);(d)-有一定风化的辉绿岩(CA-7,正交偏光);(e)-正长花岗岩(CA-4,正交偏光);(f)-正长花岗斑岩(CA-36,正交偏光)

Fig.3 Petrography of the magmatites of Chang'an gold deposit

辉绿结构,块状构造。主要由辉石和基性长石组成,可见少量橄榄石(或被蛇纹石替代)、黑云母、石英等(图3d)。因部分辉石蚀变为绿泥石、角闪石和碳酸盐类矿物而使岩石整体常呈灰绿色。

辉长岩主要分布在矿区西南,呈不规则岩墙状产出,其走向与地层产状一致,在F6断裂处也有少量产出(图2)。岩石具中至粗粒结构,具典型辉长结构,暗黑色-灰绿色,主要矿物成分为基性斜长石和单斜辉石,次要矿物有橄榄石、斜方辉石、角闪石、黑云母。

### 2.3 正长花岗岩和正长花岗斑岩

正长花岗岩和正长花岗斑岩在矿区呈小岩株状产出(图2),少量呈脉状产出(图3a),走向NW、NE、EW向均有。通常长200~500m,宽2.0~3.0m,浅灰-浅红色,等粒状或似斑状结构。矿物成分为正长石、环带斜长石、黑云母、角闪石和少量石英(图3e, f),副矿物为磷灰石、榍石、独居石、锆石、磷铀矿等。梁华英等(2004)采用锆石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年法测定长安金矿区铜厂矿段细晶正长花岗岩的年龄为36.00

$\pm 0.19\text{Ma}$ 。

需要说明的是,在矿山及前人资料(云南地矿资源股份有限公司,2002;东华理工学院等,2007<sup>①</sup>;刘邦,2009)中,均将该类岩石称之为“正长岩”和“正长斑岩”,但其  $\text{SiO}_2$  含量普遍(68%~72%)高于正长岩等中性岩石,变化于酸性岩的  $\text{SiO}_2$  含量范围内。因此,结合岩相学特征,本次研究将其重新命名为正长花岗岩和正长花岗斑岩,但与前人资料中所称的正长花岗岩或正长花岗斑岩为同一地质体。

### 3 岩浆岩地球化学特征

全岩成分分析在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试,常量元素数据测试采用的是熔片法 X-射线荧光光谱(XRF)法,其中  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^+$  的检出限为 0.1%,  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$  的检出限为 0.05%;  $\text{FeO}$  采用的是容量法,检出限为 0.1%;  $\text{CO}_2$  采用的是电位法;  $\text{H}_2\text{O}$  + 采用的是重量法(GR)。稀土元素用等离子质谱法(ICP-MS)测试,除 La、Ce 和 Y 元素检出限为  $1 \times 10^{-6}$  外,其他元素检出限均为  $0.1 \times 10^{-6}$ 。微量元素分析所采用的方法、相应元素及其检测限分别为:原子荧光光谱法(AFS):As- $1 \times 10^{-6}$ 、Hg- $2 \times 10^{-6}$ 、Sb- $0.05 \times 10^{-6}$ ;压片法 X-射线荧光光谱(XRF):Ba-Rb-Sr- $5 \times 10^{-6}$ 、Cu- $1 \times 10^{-6}$ 、Zr- $2 \times 10^{-6}$ ;等离子体质谱法(ICP-MS):Th- $1 \times 10^{-6}$ 、Hf-Ta-U- $0.2 \times 10^{-6}$ 、Mo- $0.3 \times 10^{-6}$ 、Nb-Pb-Zn- $2 \times 10^{-6}$ 。

#### 3.1 常量元素

各类岩浆岩的常量元素成分中(表1),4个煌斑岩样品(CA17,8016,8030,8033)的  $\text{SiO}_2$  含量为 41.12%~49.87%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量为 5.50%~6.90%;4个辉绿岩样品(8017,CA-12,CA-33,CA-27)的  $\text{SiO}_2$  含量为 30.24%~53.98%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量为 1.24%~7.30%;5个正长花岗岩样品(CA-18,8024,8027,8029,CA04)的  $\text{SiO}_2$  含量为 68.35%~70.48%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量为 7.71%~8.49%;3个正长花岗斑岩样品(CA33,CA-4,CA-36)的  $\text{SiO}_2$  为 70.20%~72.02%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量为 7.20%~8.16%。各类样品的烧失量为 1.84%~14.29%,个别高达 23.42%,普遍高于正常的或未蚀变的同类岩石,因而上述主要氧化物的含量均值均比正常成分略偏低。

在  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  图解(图4)中,绝大多数样品点落入高钾质区域,少量落入钾质区域,表现出高钾-钾质岩系的特性,这与整个哀牢山-金沙江成矿带富钾岩体广布的特征(杨立强等,2010)一致。

岩性从煌斑岩到正长花岗斑岩脉,暗色矿物明显减少,斜长石、石英和碱性长石等矿物增加,氧化物中  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  增加,而  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  及  $\text{P}_2\text{O}_5$  降低。在哈克图解上,随  $\text{SiO}_2$  含量的逐渐升高, $\text{Na}_2\text{O}$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  增加,而  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  逐渐降低。矿区内各类脉

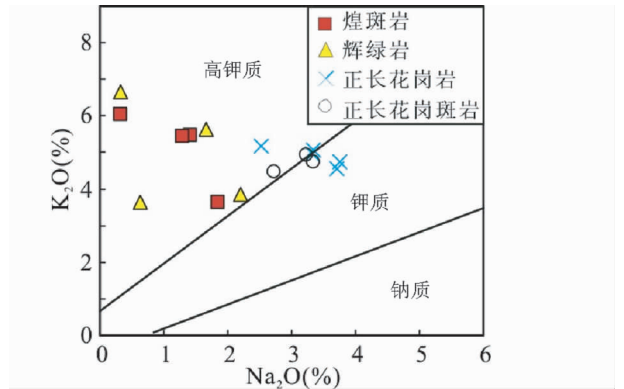


图4 长安金矿床各类岩浆岩的  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  岩石系列分类图

Fig. 4 TAS diagram for the classification of the magmatic rocks in Chang'an deposit

岩/岩浆岩的氧化物与  $\text{SiO}_2$  的变异关系基本呈一条拟合线演化(图5),表现出岩浆分离结晶演化的特点。

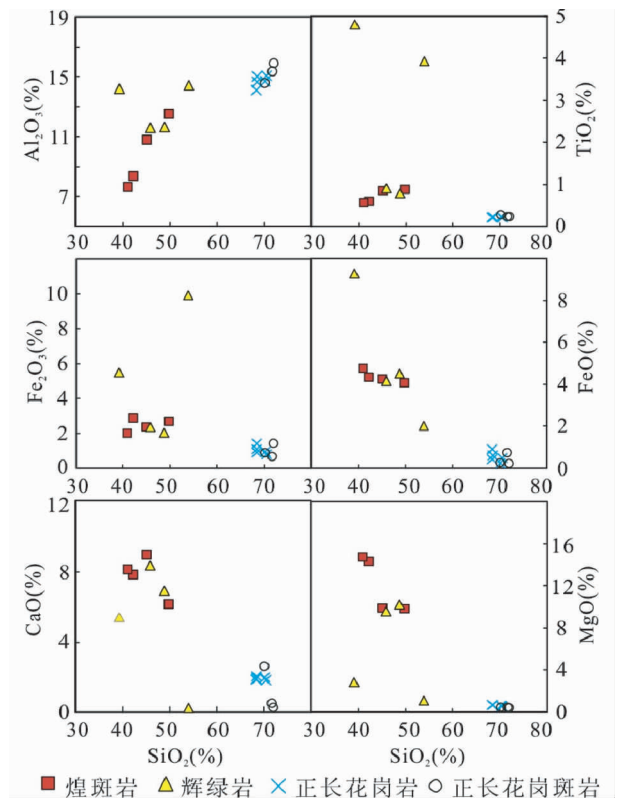


图5 长安金矿床不同岩浆岩的哈克图解

Fig. 5 Harker's diagram of the magmatic rocks

① 东华理工学院等. 2007. 云南省金平县长安金矿成矿模型及找矿方向研究报告

表1 长安金矿区岩浆岩和矿石的常量元素(wt%)、稀土元素( $\times 10^{-6}$ )、微量元素( $\times 10^{-6}$ )含量和特征值Table 1 Major element (wt%), trace element ( $\times 10^{-6}$ ) contents of magmatic rocks from Chang'an gold deposit

样品号	CA-3	CA-15	CA-16	CA-24	CA-32	CA-34	CA17	8016	8030	8033	CA-12	CA-27	CA-33	8017	CA04	CA-18	8024	8027	8029	CA-36	CA-4	CA33	
岩性	贫矿石	粉砂岩 原生 型矿石	角砾岩 型矿石	碎裂 白云岩	富矿 白云岩	煌斑岩 白云岩	煌斑岩	煌斑岩	煌斑岩	煌斑岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	细晶正 长花 岗岩	正长 花岗岩	正长 花岗岩	正长 花岗岩	正长 花岗岩	正长 花岗岩	石英正 长斑岩	正长 花岗岩	CA33
SiO <sub>2</sub>	74.17	58.51	54.93	74.69	35.66	6.30	49.87	45.16	42.29	41.12	53.98	45.90	39.25	48.85	70.20	70.48	68.35	68.42	68.47	71.67	72.02	70.20	
TiO <sub>2</sub>	0.556	0.915	0.770	0.097	2.695	0.645	0.87	0.85	0.58	0.55	3.930	0.901	4.801	0.790	0.23	0.22	0.21	0.22	0.21	0.226	0.232	0.270	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.94	16.57	16.60	6.81	8.02	2.95	12.51	10.77	8.36	7.62	14.40	11.61	14.18	11.62	14.69	15.07	14.09	15.03	14.66	15.36	15.87	14.55	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.78	0.89	3.62	0.30	10.52	1.19	2.65	2.34	2.83	1.97	9.92	2.33	5.48	2.01	0.93	0.78	0.90	1.41	1.09	0.64	1.41	0.88	
FeO	0.16	4.36	1.59	0.69	5.08	0.60	4.05	4.22	4.32	4.74	2.00	4.16	9.29	4.51	0.25	0.48	0.89	0.42	0.59	0.72	0.20	0.25	
MnO	0.026	0.043	0.024	0.031	0.129	0.027	0.11	0.11	0.11	0.11	0.007	0.110	0.177	0.100	0.02	0.019	0.02	0.02	0.02	0.017	0.002	0.010	
MgO	0.99	2.91	2.96	1.81	5.00	16.90	9.78	9.83	14.27	14.70	1.09	9.56	2.84	10.21	0.60	0.55	0.64	0.66	0.64	0.41	0.39	0.40	
CaO	0.13	1.48	2.99	6.47	11.01	30.98	6.16	8.97	7.82	8.14	0.21	8.35	5.42	6.91	1.99	1.82	1.85	1.86	2.05	0.47	0.23	2.58	
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.24	0.13	0.27	0.22	0.22	1.85	1.42	1.29	0.33	0.33	1.67	0.64	2.20	2.53	3.34	3.71	3.76	3.33	3.34	3.23	2.72	
K <sub>2</sub> O	4.88	6.39	7.14	2.93	1.82	0.62	3.65	5.48	5.44	6.04	6.67	5.64	3.63	3.86	5.18	5.07	4.56	4.73	4.95	4.74	4.93	4.48	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.15	0.13	0.03	0.39	0.09	0.52	0.82	0.92	0.85	0.29	0.77	0.56	0.49	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.11	
H <sub>2</sub> O	2.42	2.40	2.78	1.03	3.26	0.26	3.26				3.74	2.33	4.06		1.18	1.25			2.16	1.67	1.56		
CO <sub>2</sub>	0.15	5.50	4.48	4.90	12.83	39.52	4.28				0.25	6.44	10.23		1.87	0.79			0.36	0.17	1.58		
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	4.96	6.63	7.27	3.21	2.04	0.84	5.50	6.90	6.73	6.37	6.99	7.30	4.27	6.06	7.71	8.41	8.27	8.49	8.28	8.08	8.16	7.20	
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	57.14	26.53	52.90	10.69	8.30	2.81	1.97	3.86	4.22	18.30	20.21	3.38	5.67	1.75	2.05	1.52	1.23	1.26	1.49	1.42	1.53	1.65	
Total	99.33	100.38	98.15	100.06	96.64	100.30	99.56	89.97	88.23	86.17	96.82	99.76	100.56	91.45	99.77	99.93	95.29	96.60	96.08	100.20	100.41	99.59	
La	47.9	77.5	54.4	6.2	13.8	6.4	53.8	51.3	36.6	85.2	46.0	41.1	52.8	54.7	17.6	15.1	16.7	15.2	16.4	22.8	16.8	24.9	
Ce	88.5	158.0	110.2	12.4	51.6	13.3	99.91	94.348	65.16	149.942	109.2	101.2	115.7	110	30.98	28.2	27.582	23.67	26.723	47.3	31.1	44.78	
Pr	10.08	18.08	12.88	1.47	7.48	1.81	12.39	11.809	8.108	18.097	15.00	13.55	15.17	12	3.61	3.33	3.281	2.945	3.2	5.55	3.89	5.24	
Nd	35.60	65.40	46.31	5.78	34.23	7.34	40.31	42.782	28.584	62.731	63.02	55.33	60.88	45.6	11.89	12.02	10.23	9.412	10.461	20.68	14.26	16.91	
Sm	5.67	11.43	7.83	1.28	7.26	1.42	7.87	9.279	5.863	13.4	12.01	10.37	11.36	8.06	2.32	2.01	1.943	1.592	2.114	4.32	2.42	3.08	
Eu	0.98	1.53	1.41	0.32	2.10	0.42	2.04	2.537	1.609	3.727	2.96	2.68	2.97	2.2	0.57	0.48	0.431	0.523	0.496	1.11	0.54	0.75	
Gd	4.71	9.24	6.62	1.28	6.89	1.35	6.07	8.192	4.92	11.675	9.93	8.77	10.03	7.12	1.68	1.53	1.49	1.369	1.583	2.78	1.86	2.17	
Tb	0.74	1.39	1.02	0.25	1.06	0.22	0.80	1.013	0.705	1.417	1.25	1.13	1.49	0.85	0.21	0.19	0.19	0.185	0.194	0.35	0.23	0.27	
Dy	4.01	7.37	5.38	1.50	5.40	1.08	4.12	4.913	3.489	6.894	5.78	5.26	7.74	4.54	1.02	0.87	0.927	0.897	0.916	1.60	1.01	1.29	

续表 1

Continued Table 1

样品号	CA-3	CA-15	CA-16	CA-24	CA-32	CA-34	CA17	8016	8030	8033	CA-12	CA-27	CA-33	8017	CA04	CA-18	8024	8027	8029	CA-36	CA-4	CA33	
岩性	贫矿石	粉砂岩 原生 矿石	粉砂岩 角砾岩 型矿石	碎裂 白云岩	富矿 白云岩	煌斑岩 煌斑岩 白云岩	煌斑岩 煌斑岩	煌斑岩 煌斑岩	煌斑岩 煌斑岩	煌斑岩 煌斑岩	辉绿岩 辉绿岩	辉绿岩 辉绿岩	辉绿岩 辉绿岩	辉绿岩 辉绿岩	细晶正 长花 岗岩	正长 花岗 岩	正长 花岗 岩	正长 花岗 岩	正长 花岗 岩	石英正 长斑 岩	正长 花岗 岩	正长 花岗 岩	斑岩
Ho	0.80	1.39	1.04	0.30	0.97	0.20	0.74	0.817	0.675	1.088	0.93	0.88	1.43	0.82	0.2	0.14	0.154	0.153	0.149	0.27	0.17	0.24	
Er	2.28	3.91	2.94	0.92	2.42	0.52	1.78	2.015	1.772	2.492	2.26	2.16	3.83	2.19	0.45	0.36	0.419	0.381	0.375	0.71	0.44	0.57	
Tm	0.35	0.58	0.44	0.18	0.32	0.10	0.25	0.274	0.271	0.322	0.30	0.30	0.55	0.29	0.06	0.07	0.057	0.055	0.056	0.14	0.09	0.08	
Yb	2.24	3.70	2.80	1.03	1.85	0.43	1.52	1.71	1.70	1.94	1.67	1.73	3.32	1.83	0.39	0.29	0.37	0.35	0.38	0.82	0.35	0.48	
Lu	0.34	0.59	0.44	0.16	0.26	0.07	0.23	0.22	0.23	0.26	0.24	0.26	0.51	0.27	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.13	0.05	0.07	
Y	23.5	39.1	29.3	8.8	24.0	5.7	18.1	20.6	17.0	28.2	22.7	23.7	35.9	20.2	5.2	4.1	3.7	3.8	3.5	5.9	5.5	6.0	
ΣREE	227.7	399.1	283.0	41.82	159.7	40.36	250.0	251.9	176.7	387.3	293.2	268.4	323.7	270.7	76.24	68.76	67.59	60.61	66.65	114.4	78.80	106.9	
LREE/HREE	12.19	11.78	11.27	4.88	6.08	7.75	13.95	11.08	10.60	12.77	11.09	10.94	8.96	12.98	16.45	17.52	16.48	15.51	16.02	14.96	16.46	18.52	
δEu	0.56	0.44	0.59	0.76	0.89	0.91	0.87	0.87	0.89	0.89	0.80	0.84	0.83	0.87	0.84	0.80	0.75	1.06	0.80	0.92	0.75	0.84	
As	1086	110.9	422.9	151.7	240.4	192.7	6.9		21418	9.7	2.6			92.2	90.4				2.6	179.6	1.8		
Ba	186	532	583	324	5492	219	1621	2822	1706	3868	853	3119	623	2213	1248	843	393	1411	790	560	825	1702	
Cu	16	25.4	33.2	69.3	186.6	22	49.4		269	70.1	309.2			12.8	26.8				6.2	8.3	11.4		
Hf	10.39	22.8	10.8	4.14	4.85	1.54	3.16	4.49	3.87	7.11	10.49	5.52	7.8	4.13	—	4.41	3.97	3.82	3.92	5	4.64	3.71	
Hg	19	7	12	6	261	64	0		113	6	10	7		0	7				4	5	0.005		
Mo	0.46	2.26	4.91	10.85	1.77	2.86	2.05		2.28	2.25	1.44			5.43	9.53				0.32	1.95	0.2		
Nb	13.8	18.2	19.5	4.3	34.9	8.1	11.9	6.2	7.4	7.3	64	16.9	59.7	11.4	5.92	6.7	5.5	5.2	5.2	6.7	6.9	6.68	
Pb	21.9	15.4	55.1	299.4	23.3	16.6	22.3	33	23.9	16.4	171.1	33	6.2	26.6	66	35.5	55.1	44.7	12.5	35.2	62.5	52.4	
Rb	148	204	220	73	52	18	75.9	235	156	283	185	183	119	143	179	195	207	162	148	196	206	164	
Sb	4.04	9.3	28.4	4.56	11.38	4.76	1.1		160	0.92	0.5			4.28	17.92				0.18	2.56	1.1		
Sr	13	79	67	157	124	106	565	929	2033	1203	40	1200	115	1042	377	304	60	471	279	170	315	367	
Ta	1.016	1.464	1.567	0.381	2.335	0.433	0.75	0.385	0.528	0.451	3.872	0.964	3.883	0.68	0.65	0.69	0.671	0.646	0.642	0.733	0.722	0.68	
Th	18.8	35.11	23.31	7.51	3.89	1.21	10.4	12.73	10.99	14.39	6.75	14.36	6.92	14.4	8.99	11.23	12.04	10.68	10.92	12.89	11.84	7.94	
U	3.9	4.62	4.08	1.28	1.47	5.67	2.87	2.66	3.37	1.19	1.58	4.38	1.22	3.49	3.7	4.61	4.543	3.762	3.947	4.65	5.14	3.77	
Zn	32	42.2	151.6	183.8	57.7	70.4	70.1		139.7	76.6	132.4			32.9	46.4				36.6	68.3	41.4		
Zr	340	788	345	112	200	54	149	194	154	313	406	243	350	187	—	119	138	140	143	129	125	115	
Zr/Hf	32.77	34.56	31.92	27	41.32	35.24	47.15	43.19	39.87	43.94	38.74	44.09	44.86	45.28	—	26.91	34.69	36.66	36.5	25.73	26.88	31	
U/Th	0.21	0.13	0.18	0.17	0.38	4.71	0.28	0.21	0.31	0.08	0.23	0.3	0.18	0.24	0.41	0.41	0.38	0.35	0.36	0.36	0.43	0.47	
资料来源	本文	本文	本文	本文	本文	本文	①	②	②	②	②	②	②	②	①	②	②	②	②	②	②	①	
资料来源	①	①	①	①	①	①	①	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	
资料来源	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②	
资料来源	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	

注:资料来源:① 东华理工学院等,2007;② 刘邦,2009

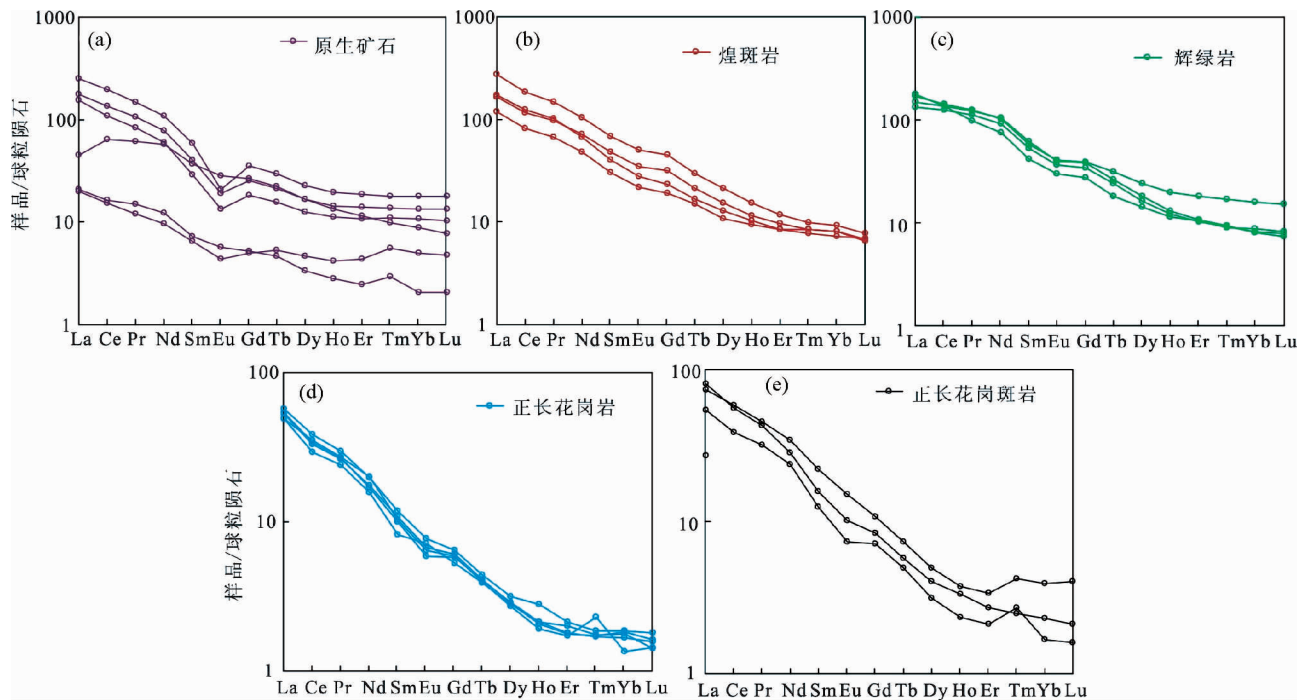


图6 不同类型岩石、矿石的稀土配分曲线

Fig. 6 REE patterns of the different rocks and ores

### 3.2 稀土元素

矿区内有关岩浆岩的稀土元素含量及计算获得的特征值列于表1,经球粒陨石标准化后做出不同岩浆岩及矿石的稀土配分曲线(图6)。从中可以看出:煌斑岩(CA17,5179,5188,5194)的稀土元素总量 $\Sigma$ REE值为 $176.7 \times 10^{-6} \sim 387.3 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为10.60~13.95,属轻稀土富集型, $\delta$ Eu值介于0.87~0.89,呈弱的负Eu异常,稀土配分曲线特征相似,均为右倾型(图6b)。辉绿岩(CA-12,CA-27,CA-33,8017)的稀土元素总量 $\Sigma$ REE值为 $268.4 \times 10^{-6} \sim 323.7 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为8.96~12.98,属轻稀土富集型, $\delta$ Eu介于0.80~0.87,具有弱的负Eu异常,稀土配分曲线总体特征一致,为右倾型(图6c)。5个正长花岗岩样品的稀土元素总量 $\Sigma$ REE为 $60.61 \times 10^{-6} \sim 76.24 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值介于15.51~17.52,显示轻稀土富集型特征, $\delta$ Eu值为0.75~1.06,总体为弱的负Eu异常(图6d)。3个正长花岗斑岩的稀土元素总量为 $78.80 \times 10^{-6} \sim 114.4 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为14.96~18.52, $\delta$ Eu为0.75~0.92。矿石样品的稀土元素特征值表现为2组,角砾岩型、白云岩型矿石(CA-24,CA-32,CA-34)的 $\Sigma$ REE值为 $40.36 \times 10^{-6} \sim 159.7 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为4.88~7.75, $\delta$ Eu介于0.76~0.91,稀土总量低,轻重稀土分异不明显,具有弱的负Eu异常(图6a);而砂岩型矿石(CA-3,CA-15,CA-16)的 $\Sigma$ REE值为 $227.7 \times 10^{-6} \sim 399.1 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为11.27~12.19, $\delta$ Eu介于0.44~0.59,稀土总量高,轻重稀

土分异明显,具有明显的负Eu异常(图6a)。

从表1和图6还可以看出,煌斑岩与辉绿岩稀土配分模式、稀土总量、LREE/HREE比值和 $\delta$ Eu异常等特征参数十分相似,均为轻稀土富集型,轻重稀土分异较明显,具有弱负Eu异常,暗示矿区内煌斑岩与辉绿岩可能为同源岩浆演化产物。同时,与煌斑岩和辉绿岩相比,正长花岗岩和正长花岗斑岩的稀土总量偏低,轻重稀土分异更明显,而Eu异常程度类似(图6、图7),但总体配分模式相同,可能暗示它们可能为同源岩浆演化不同阶段的产物。

### 3.3 微量元素

微量元素在一般的地质作用及岩浆分异过程中地球化学性质比较稳定,因而现已成为研究岩浆源区演化、判别成岩成矿物质来源的有力工具。有关矿石和岩石的微量元素含量列于表1,从表1和图8可以看出,在不同类型岩浆岩中两对强不相容元素比较接近的Zr/Hf和U/Th比值,样品点大致呈线性关系,表明在一个相对较短的时间内,该区脉岩在侵位过程中没有明显受到地壳物质的混染,同时也暗示了它们具有一致的岩浆源区(冯波等,2006)。

## 4 岩浆岩与金成矿的关系

### 4.1 时空关系

区内脉岩与矿体在空间上关系密切,从矿体空间分布可看出(图2):V1、V2、V3、V4、V6、V7矿体均与辉绿岩脉共生,



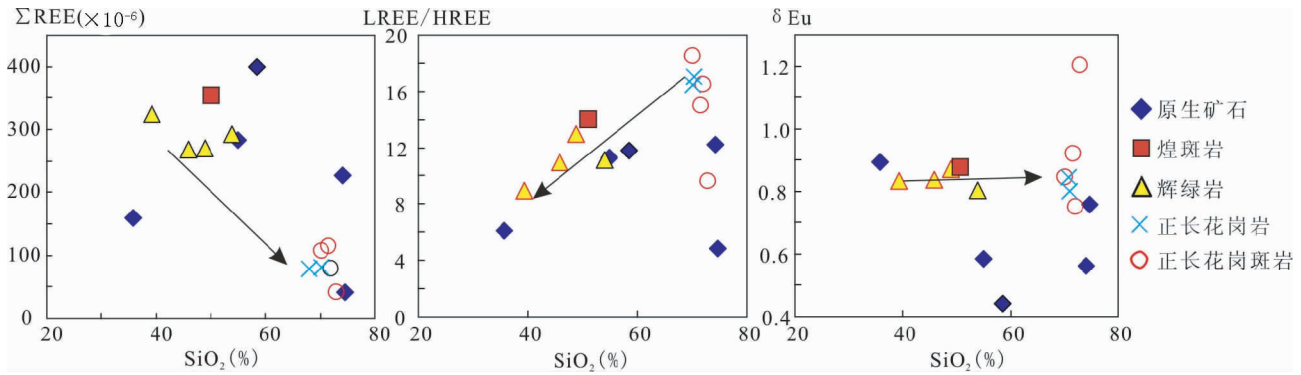


图7 不同类型岩浆岩和矿石的 $\Sigma$ REE、LREE/HREE、 $\delta$ Eu 稀土特征值与 $\text{SiO}_2$ 的变异图

Fig. 7  $\Sigma$ REE, LREE/HREE and  $\delta$ Eu vs.  $\text{SiO}_2$  diagram of different rocks and ores

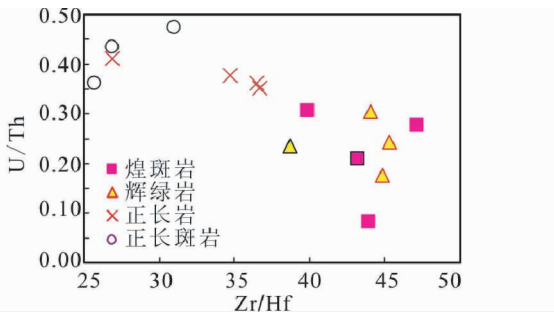


图8 各类岩浆岩的U/Th-Zr/Hf图解

Fig. 8 U/Th vs. Zr/Hf diagram of the magma rocks

金矿脉产在辉绿岩脉中或者脉岩两侧,V5与正长花岗岩岩株密切伴生,V8(在图2所示范围之外)与辉绿岩脉平行产出。部分岩脉(尤其是煌斑岩、辉绿岩)常与矿脉共用相同的构造通道,岩石普遍见星点状、团块状黄铁矿化(图2、图3)。

从矿区各类岩体/脉岩与矿体的穿插关系可看出,(1)正长花岗岩脉切穿煌斑岩脉(图3a),煌斑岩脉切穿矿体,矿脉赋存在辉绿岩脉中或与辉长岩脉紧邻产出,且煌斑岩脉和辉绿岩脉等本身也常见矿化;(2)正长花岗岩呈小岩株或者岩脉状产出,正长花岗岩岩株内可见辉绿岩脉,矿体产在岩株旁侧,但正长花岗岩岩株和岩脉中少见矿化。(3)据此推断岩浆活动应具有多期性,脉岩、矿体的总体生成顺序是:矿体→基性脉岩→矿体→中基性/中酸性脉岩→矿体→酸性脉岩。这种脉岩与矿体在时间上交叉产出的现象,也常见于国内其它矿区,如夹皮沟、胶东西北部及小秦岭等金矿集中区(綦远江等,2001)。

矿区及相邻矿区已有的年代学资料(表2)证明,煌斑岩中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $35.62 \pm 0.16\text{Ma}$ (对应的 $^{39}\text{Ar}$ 析出量达95.6%, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 $304 \pm 6$ ), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $35.27 \pm 0.74\text{Ma}$ (云南地矿资源股份有限公司,2002);说明煌斑岩主体形成于35Ma左右。梁华英等(2004)采用锆石 ELA-ICP-MS 定年法测定金平铜厂铜钼矿中赋矿正长花岗斑岩的年龄为 $34.56 \pm 0.18\text{Ma}$ ,而

表2 长安金矿区岩浆岩同位素年龄测定结果

Table 2 Isotopic chronology results of the magmatic rocks from Chang'an gold deposit

矿区	岩石	测试对象	测年方法	年龄 (Ma)	资料来源
长安	煌斑岩	黑云母	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄	$35.62 \pm 0.16$	云南地矿资源股份有限公司, 2002
				$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线	
铜厂	细晶正长花岗岩	锆石	ELA-ICP-MS 年龄	$36.00 \pm 0.19$	梁华英等, 2004
铜厂	正长花岗斑岩	锆石	ELA-ICP-MS 年龄	$34.56 \pm 0.18$	
铜厂	正长花岗斑岩	黑云母	K-Ar	$37.7 \pm 0.7$	张玉泉和谢应雯, 1997
铜厂	石英正长花岗岩	全岩-矿物	Rb-Sr	36.1	云南地科所, 转引自刘邦, 2009
铜厂	石英正长花岗岩	全岩-矿物	Rb-Sr	35.9	
铜厂	石英正长花岗岩	全岩-矿物	Rb-Sr	33.9	

细晶正长花岗岩的年龄为 $36.00 \pm 0.19\text{Ma}$ 。从区域背景看,长安金矿的细晶正长花岗岩与铜厂细晶正长花岗岩应为同时代的产物,即形成于36Ma左右。铜厂矿区石英正长花岗岩的全岩-矿物 Rb-Sr 年龄介于 $33.9 \sim 36.1\text{Ma}$ ,反映了多期侵入的特点。

目前,该矿床虽然缺乏直接的成矿年龄,但结合地质产状等综合因素,众多研究者普遍认为该矿床的成矿时代为喜山期晚期,具有多期成矿的特征。

## 4.2 成因关系

已有的对长安金矿床地层、岩浆岩、矿石等成矿元素研

究(和中华等,2008)表明,细晶正长花岗岩、辉绿岩、煌斑岩是与长安金矿关系最密切的岩浆岩,为长安金矿提供了成矿物质来源。本文将着重从岩石地球化学的角度分析岩浆岩与成矿的关系。

从表1和图6可以看出,长安金矿床矿石样品的稀土元素特征值表现为2组,角砾岩型、白云岩型矿石(CA-24、CA-32、CA-34)的 $\Sigma$ REE值为 $40.36 \times 10^{-6} \sim 159.7 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为4.88~7.75, $\delta$ Eu介于0.76~0.91,稀土总量低,轻重稀土分异不明显,具有弱的负Eu异常(图6a)。

显微岩相学观察显示,白云岩CA-32发育大量黄铁矿化,CA-34基本无黄铁矿或毒砂矿化。因此,黄铁矿化过程可能导致白云岩稀土总量增加,LREE/HREE比值降低,这与前人对热液蚀变过程中稀土元素地球化学行为的认识一致(Campbell *et al.*, 1984;凌其聪和刘丛强,2001;郭春影等,2009)。据此推断,成矿流体的稀土配分模式应与矿区白云岩相似,即:成矿热液(至少黄铁矿化阶段的热液)可能源于白云岩地层的变质分泌水。

角砾岩型矿石稀土总量极低是因为该类矿石硅化较强,而石英中稀土含量较低,造成角砾岩型矿石整体稀土元素总量被“稀释”(Campbell *et al.*, 1984;凌其聪和刘丛强,2001)。同时,角砾岩型矿石稀土配分曲线模式与其他原生矿石相似(图6),具有较明显的负Eu异常,认为是继承了碎屑岩地层的稀土元素特征。

而砂岩型矿石(CA-3、CA-15、CA-16)的 $\Sigma$ REE值为 $227.7 \times 10^{-6} \sim 399.1 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE比值为11.27~12.19, $\delta$ Eu介于0.44~0.59,稀土总量高,轻重稀土分异明显,具有明显的负Eu异常(图6A),这一特征与矿区其他岩浆岩均不同,认为是继承了地层的稀土元素特征。同为原生矿石,CA-15与CA-16相比,负Eu异常程度较大。结合显微岩相学观察,CA-16发育较强的毒砂矿化,而CA-15毒砂矿化现象不明显。因此,推断毒砂矿化热液蚀变作用导致CA-16负Eu异常程度降低,暗示成矿流体可能具有正Eu异常或弱负Eu异常特征。结合矿区内煌斑岩与辉绿岩具有弱负Eu异常(表1、图6)的这一特征,可以初步判断毒砂矿化阶段的成矿热液可能与煌斑岩与辉绿岩岩浆侵入活动有关。

#### 4.3 成矿过程简析

根据前人(应汉龙等,2006;王勇等,2007)和本文对该矿床所做的同位素研究工作:流体包裹体的氢( $\delta$ D = -118‰ ~ -107‰)、氧同位素( $\delta^{18}$ O = 11.5‰ ~ 15.1‰)具有岩浆水与地层水混合的特征; $\text{CO}_2$ 的碳同位素( $\delta^{13}$ C = -1.9‰ ~ -3.1‰)显示多来源特征。前人对长安金矿区硫同位素( $\delta^{34}$ S = -2.3‰ ~ 3.3‰)研究表明,成矿流体主要来源于深部,在上升运移过程中有浅部流体的加入和混合。金矿石中铂族元素PGE的研究(刘邦,2009)表明,深部幔源物质参与了长安金矿的成矿作用,成矿物质表现出壳幔混源的特点。

综合上述,长安金矿床的成矿物质具有壳幔混源的特

点,深部物质和地层均贡献部分成矿物质,成矿流体具有岩浆水与地层变质水混合的特征。据此初步分析该矿床成矿过程为:由于位于哀牢山南段的金平地区,受白垩纪末开始的印度-欧亚大陆碰撞的影响,强烈的壳幔相互作用过程导致了频繁的岩浆和热液流体活动。一方面地幔物质部分熔融,产生大规模富碱岩浆活动,沿断裂上侵形成煌斑岩、正长花岗岩等富碱侵入岩;同时为成矿提供热动力,驱使岩浆水循环并与矿区地层在造山作用下脱水产生的富 $\text{CO}_2$ 的变质水混合。这些混合流体在断裂沟通的地层、岩体(下奥陶统向阳组碎屑岩、辉绿岩等矿源层)中运移,溶解、萃取其中的Au等成矿元素。当运移至地壳浅部剪切带时,由于温度、压力的下降以及水岩反应等因素的影响,Au等成矿元素在适宜的成矿空间(如脆性断裂、构造破碎带等)卸载并富集成矿,最终形成长安金矿床。这一成矿机制与同在哀牢山成矿带南段的大坪金矿床(孙晓明等,2007;熊德信等,2007)类似,代表了区域上该类型矿床的成矿特点。

**致谢** 野外工作得到了云南地矿资源股份有限公司和长安金矿矿山工作人员的大力支持和帮助,研究生郭春影、刘学飞等参与了部分野外和研究工作,在此表示真诚感谢。

## References

- Campbell IH, Leshner CM, Coad P, Franklin JM, Gorton MP and Thurston PC. 1984. Rare-earth element mobility in alteration pipes below massive Cu-Zn-sulfide deposits. *Chemical Geology*, 45(3-4): 181-202
- Chen YC and Wang DH. 2001. Study on the Endo-Mineralization in Himalaya Epoch. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Deng J, Sun ZS, Yang LQ, Chen XM, Xiao RG and Du ZT. 2000. Discussion on gold origin and rich mechanism of ore-forming fluid movement. *Geological Science and Technology Information*, 19(1): 41-45 (in Chinese with English abstract)
- Deng J, Gao BF, Wang QF and Yang LQ. 2005. Formation and evolution of ore-forming fluid system. *Geological Science and Technology Information*, 24(1): 49-54 (in Chinese with English abstract)
- Feng B, Tao X, Wang ZM and Zhou JR. 2006. Characteristics of dikes and their relationship with gold mineralization in the Tudui-Shanwang gold deposit. *Resources Environment & Engineering*, 20(6): 751-754 (in Chinese with English abstract)
- Guo CY, Gao BF, Liu XF and Zhang RZ. 2009. Characteristics and their geological significance of rare earth elements in Chang'an gold deposit, Yunnan Province. *Gold*, 30(1): 7-11 (in Chinese with English abstract)
- He ZH, Wang Y, Mo XX, Zeng PS, Yu XH and Liu HL. 2008. Sources of ore-forming materials in the Changan gold deposit, Yunnan Province: Evidence from the contents of ore-forming elements in ore, strata and magma from ore district. *Journal of East China Institute of Technology (Nature Science)*, 31(3): 207-212 (in Chinese with English abstract)
- Li DM, Cao ZM, Tan GJ, He SX, Li BH, Wen CQ and Xu ZM. 1998. Gold Deposits in Ailaoshan Ophiolitic Melange Zone. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Liang HY, Xie YW, Zhang YQ and Ian Campbell. 2004. Forming of K-

- rich alkali rock restrict the metallogenic of Cu; Machangqing Cu deposit as an example. *Natural Science Progress*, 14(1): 116–120 (in Chinese with English abstract)
- Ling QC and Liu CQ. 2001. Geochemistry of trace elements during ore-forming processes in Yinshan deposit. *Earth Science*, 26(5): 473–485 (in Chinese with English abstract)
- Liu B. 2009. Geochemical characteristics and metallogenic model of Chang'an gold deposit in Ailaoshan gold belt, Yunnan Province, China. Master Degree Dissertation. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 1–108 (in Chinese with English Summary)
- Luo ZH, Lu XX, Wang BZ, Chen BH, Huang F, Yang ZF and Wang Y. 2008. Post-orogenic dike complexes and implications for metallogenesis. *Earth Science Frontier*, 15(4): 1–12 (in Chinese with English abstract)
- Pavlova GG and Borisenko AS. 2009. The age of Ag-Sb deposits of Central Asia and their correlation with other types of ore systems and magmatism. *Ore Geology Reviews*, 35:164–185
- Qi YJ, Yang WF and Zhao Q. 2001. The relationship between the ore bodies and the dikes in Jiapigou gold ore field. *Gold Science and Technology*, 9(2): 7–11 (in Chinese with English abstract)
- Ressel MW, Nobel DC, Henry CD and Trudel WS. 2000. Dike-hosted ores of the Beast Deposit and the importance of Eocene magmatism in gold mineralization of the Carlin Trend, Nevada. *Economic Geology*, 95: 1417–1444
- Rock NMS and Groves DI. 1998. Do lamprophyres carry gold as well as diamonds? *Nature*, 332: 253–255
- Sun JG, Hu SX, Ling HF and Ye Y. 2000. Element geochemistry and origin of high potassic-potassic dike rocks in two types of goldfields in Northwest Jiadong, Shandong, China. *Geochimica*, 29(2): 143–152 (in Chinese with English abstract)
- Sun XM, Xiong DX, Shi GY, Wang SW and Zhai W. 2007.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of gold deposit hosted in the Daping ductile shear zone in the Ailaoshan gold belt, Yunnan Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 88–92 (in Chinese with English abstract)
- Taylor WR, Rock NMS and Groves DI. 1993. Geochemistry of Archaean shoshonitic lamprophyres from the Yilgarn Block, Western Australia: Au abundance and association with gold mineralization. *Applied Geochemistry*, 9: 197–222
- Wang Y, Mo XX and Zeng PS. 2007. The Geological characteristics and metallogenic model of the Chang'an gold deposit. *Acta Mineralogica Sinica*, (Supp.): 169–170 (in Chinese)
- Williams HM, Turner SE, Pearce JA, Kelley SP and Harris NBW. 2004. Nature of the source regions for post-collisional, potassic magmatism in southern and northern Tibet from geochemical variations and inverse trace element modeling. *Journal of Petrology*, 45: 555–607
- Xiong DX, Sun XM, Zhai W, Shi GY and Wang SW. 2007.  $\text{CO}_2$ -rich fluid inclusions in auriferous quartz veins from the Daping ductile shear zone hosted Gold deposit in Yunnan Province, China, and its implications for gold mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 81(5): 640–653 (in Chinese with English abstract)
- Yang LQ, Liu JT, Zhang C, Wang QF, Ge LS, Wang ZL, Zhang J and Gong QJ. 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis: An example from the orogenic gold deposits in Ailaoshan gold belt, Southwest China. 26(6): 1723–1739 (in Chinese with English abstract)
- Ying HL, Liu HL, Yang XZ and Li ZW. 2006. Geology and origin of Tongchang gold deposit in Yunnan Province. *Geology and Resources*, 15(4): 265–271 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YQ and Xie YW. 1997. Geochemistry of Ailaoshan-Jingshanjing alkali-rich intrusive rocks and their Sr and Nd isotopic characteristics. *Science in China (Series D)*, 27(4): 289–293 (in Chinese)

## 附中文参考文献

- 陈毓川,王登红. 2001. 喜马拉雅期内生成矿作用研究. 北京:地质出版社
- 邓军,孙忠实,杨立强,陈学明,肖荣阁,杜子图. 2000. 成矿流体运动系统与金质来源和富集机制讨论. *地质科技情报*, 19(1): 41–45
- 邓军,高帮飞,王庆飞,杨立强. 2005. 成矿流体系统的形成与演化. *地质科技情报*, 24(1): 49–54
- 冯波,陶鑫,王忠铭,周京仁. 2006. 胶东土堆-沙旺矿区脉岩特征及与金矿的关系. *资源环境与工程*, 20(6): 751–754
- 郭春影,高帮飞,刘学飞,张瑞忠. 2009. 云南金平长安金矿床稀土元素特征及其地质意义. *黄金*, 30(1): 7–11
- 和中华,王勇,莫宣学,曾普胜,喻学惠,刘和林. 2008. 云南金平长安金矿成矿物质来源-来自矿石及地层、岩浆岩的成矿元素含量证据. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 31(3): 207–212
- 李定谋,曹志敏,覃功炯,何叔欣,李保华,温春齐,徐则民. 1998. 哀牢山蛇绿混杂岩带金矿床. 北京:地质出版社
- 梁华英,谢应雯,张玉泉, Ian Campbell. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约——以马场箐铜矿为例. *自然科学进展*, 14(1): 116–120
- 凌其聪,刘从强. 2001. 银山矿床成矿作用微量元素地球化学研究. *地球科学*, 26(5): 473–485
- 刘邦. 2009. 云南哀牢山金矿带长安金矿床地球化学特征及其成矿机制. 硕士学位论文. 广州:中山大学, 1–108
- 罗照华,卢欣祥,王秉璋,陈必河,黄凡,杨宗锋,汪洋. 2008. 造山后脉岩组合与内生成矿作用. *地学前缘*, 15(4): 1–12
- 綦远江,杨文凤,赵琪. 2001. 夹皮沟金矿田脉岩与矿体的关系. *黄金科学技术*, 9(2): 7–11
- 孙景贵,胡受奚,凌洪飞,叶瑛. 2000. 胶西北两类金矿田的高钾-钾质脉岩元素地球化学与成岩作用研究. *地球化学*, 29(2): 143–152
- 孙晓明,熊德信,石贵勇. 2007. 云南哀牢山金矿带大坪剪切带型金矿 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年. *地质学报*, 81(1): 88–92
- 王勇,莫宣学,曾普胜. 2007. 长安金矿地质特征及成矿模式. *矿物学报*, (增刊): 169–170
- 熊德信,孙晓明,翟伟. 2007. 云南大坪韧性剪切带型金矿富 $\text{CO}_2$ 流体包裹体及其成矿意义. *地质学报*, 81(5): 640–653
- 杨立强,刘江涛,张闯,王庆飞,葛良胜,王中亮,张静,龚杰杰. 2010. 哀牢山造山型金成矿系统:复合造山构造演化与成矿作用初探. *岩石学报*, 26(6): 1723–1739
- 应汉龙,刘和林,杨许中,李志伟. 2006. 云南金平铜厂金矿床地质特征和成矿物质来源. *地质与资源*, 15(4): 265–271
- 张玉泉,谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Sr、Nd 同位素组成. *中国科学(D辑)*, 27(4): 289–293