

文章编号: 0258-7106(2008)05-0587-09

# 云南宝兴厂金矿床地质特征及成因\*

李汉光<sup>1,2</sup>, 郭晓东<sup>3</sup>, 王绍明<sup>4</sup>, 皮清明<sup>2</sup> 和正中<sup>4</sup>

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国人民武装警察部队黄金第三总队, 四川 成都 610036;  
3 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000; 4 中国人民武装警察部队  
黄金第十支队, 云南 昆明 650111)

**摘要** 文章总结了云南宝兴厂金矿区地质特征, 划分了成矿期和成矿阶段, 通过对硫、铅、氢氧同位素特征的研究, 认为下奥陶统向阳组第四岩性段的碎屑岩为金成矿的矿源层。多期次的构造-岩浆活动, 形成了该区多期次、多阶段、多样式、多矿种的矿床组合类型。矿床类型主要有斑岩型、石英脉型、构造蚀变岩型、红土型等。该金矿的形成在时间、空间上与喜马拉雅期的富碱斑岩密切相关。

**关键词:** 地质学, 金矿床, 地质特征, 物理化学条件, 成矿机理, 云南

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

## Geological characteristics and genesis of Baoxingchang gold ore district in Yunnan Province

LI HanGuang<sup>1,2</sup>, GUO XiaoDong<sup>3</sup>, WANG ShaoMing<sup>4</sup>, PI QingMing<sup>2</sup> and HE ZhengZhong<sup>4</sup>

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 No.3 General Gold Party of CAPF, Chengdu 065000, Sichuan, China; 3 Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China; 4 No.10 Gold Geological Party of CAPF, Kunming 650111, Yunnan, China)

### Abstract

Located in the north of the Ailaoshan ore-forming belt, the Baoxinchang gold deposit has its unique geotectonic location that has caused complex metallogenic geological conditions and frequent structural and magmatic activities. The formation of the gold deposit is closely related to Himalayan alkali-rich porphyry both in time and in space. This paper has summed up geological characteristics of this area and made a division of the ore-forming phases and stages. S, Pb, H, O isotope characteristics suggest that clastic rock of 4th lithologic member of Lower Ordovician Xiangyang Group seems to be the source bed of gold mineralization. Multiple phases of structural-magmatic activity has resulted in the complexity of deposit assemblage types in this area characterized by multi-phase, multi-stage, diversity and multiple mineral species. Mineral deposits are mainly of porphyry, quartz-veined, tectonically-altered rock and laterite types.

**Key words:** geology, gold deposit, geological characteristics, physical-chemical conditions, metallogenic mechanism, Yunnan

云南省哀牢山成矿带是中国重要的金矿成矿区, 北衙等大型规模金矿床, 具有良好的找矿前景。自该带之一, 在该带中已先后发现了大坪、老王寨、金厂、20世纪90年代中期以来, 哀牢山成矿带上发育的马

\* 本文得到“十一五”国家攻关项目(2006BAB01B10)和武警黄金指挥部专项基金(HJ07-02)的联合资助

第一作者简介: 李汉光, 男, 1962年生, 高级工程师, 长期从事黄金地质勘查和研究工作。

收稿日期: 2007-12-03; 改回日期: 2008-06-03。李岩编辑。

厂箐铜钼矿床作为与富碱侵入岩有关的典型矿床受到了广泛关注。关于该矿床的矿床地质特征、富碱侵入体地球化学特征、流体包裹体、稳定同位素、稀有气体同位素、矿床成因、成岩成矿时代已有较多的研究(杨建琨等,1996;胡瑞忠等,1997;毕献武等,1999;葛良胜等,2002;刘显凡等,2004;彭建堂等,2005;梁华英等,2004),但对于成矿模式的研究较少(赵淮等,1995;何明勤等,2004)。另外,前人的研究工作主要集中在马厂箐富碱斑岩体及其与马厂箐铜、钼矿成矿的关系和金厂箐金矿上,这些研究工作虽然具有一定的局限性,但为深入认识其矿床成因,进一步建立矿床模式奠定了基础。近年来,武警黄金部队在该区勘查的宝兴厂金矿取得了较大进展,探明金资源量已达大型规模。鉴于宝兴厂金矿伴生大量的铜钼矿脉(体),矿床类型多样(有斑岩型、石英脉型、构造蚀变岩型、红土型等),金及铜、钼矿化与富碱的马厂箐复式杂岩体关系密切以及控矿因素复杂等,因此,研究该矿床的地质特征和成因,并建立该矿区成矿模式,对于该矿区的进一步勘查和金沙江-哀牢山富碱侵入岩带的找矿工作都大有裨益。

## 1 矿床地质特征

矿区大地构造位置处于扬子板块西缘与兰坪-思茅微板块的接合部,NW向的金沙江-哀牢山断裂带( $F_3$ )与NNE向的程海-宾川断裂( $F_7$ )分别从矿区的西部和东部通过,并在矿区南部交汇,矿床即产出在这2大断裂所挟持的三角地带(毕献武等,1999)(图1)。

### 1.1 矿区地层

矿区出露地层主要为下奥陶统向阳组、中奥陶统迎分村组、下志留统小湖西组、中志留统阴山组、上志留统五福山组、下泥盆统青山组和莲花曲组、下石炭统跃进新村组、中石炭统李子园组、上石炭统斗顶山组、下二叠统茅口组、上二叠统乌龙坝组及第四系全新统。奥陶系为一套滨海-深水浅海相碎屑岩夹少量碳酸岩,其中,下奥陶统向阳组第四岩性段岩性为一套碎屑岩夹泥灰岩,主要岩性为灰色粗粒长石石英砂岩、细粒砂岩、含砾粗砂岩及灰绿色粉砂岩,紫红色、深灰色薄至厚层状石英长石粉砂岩,黑色碳泥质细砂岩夹条带状灰岩,泥质白云岩透镜体,灰色薄层状石英长石细砂岩与薄层状灰岩互层,是矿区主要的赋矿地层。第四系以残坡积、洪积、冲积层为主,在残坡积层下部有“红土型”金矿存

在(李志群,1998)(图1)。

### 1.2 矿区构造

矿区构造主要有区域性NW向金沙江-哀牢山深大断裂、NE向断裂及近EW向的隐伏断裂构造,具有明显的多期、多阶段性。以NW向、NE向、近EW向的褶皱和断裂为主,主要包括金沙江-哀牢山断裂(NW向)、响水断裂(NE向)、金厂箐背斜(NEE向)、乱洞山向斜(EW向)、双马槽背斜(NEE向)、宝兴厂向斜(NE向)以及近EW向线性构造等。这些构造组成了本区的构造格架,是本区重要的控岩控矿构造,控制了区内富碱岩体(脉)的侵位与空间分布,并与铜、钼、金矿化关系密切。

### 1.3 矿区岩浆岩

区内岩浆活动频繁,主要形成华力西期和喜马拉雅期侵入岩,华力西期以辉长岩类为主,多呈岩墙、岩脉产出;喜马拉雅期岩浆活动较为复杂,岩石类型为以二长斑岩、花岗斑岩、正长斑岩、石英正长斑岩、煌斑岩等为主的富碱岩体(脉),富碱岩浆活动具有明显的多期多阶段特征。马厂箐复式杂岩体是矿区内的主要岩体,该岩体属于金沙江-哀牢山富碱侵入岩带的组成部分,是在第三纪时期的裂谷环境中由幔源母岩浆上侵并同化部分地壳围岩物质的产物(张玉泉等,1987),产状为岩株、岩墙、岩床、岩脉或岩柱。按岩脉之间的相互穿插关系和同位素年龄数据统计分析,马厂箐岩体为一复式岩体,具有多期次侵入的特点,岩浆活动可分为4个阶段,从早至晚为正(二)长斑岩→石英正(二)长斑岩→斑状二长花岗岩、花岗斑岩→碱长花岗岩,属钙碱性-碱性正常系列岩类(赵淮,1995;彭建堂等,2005)。岩浆活动受EW向构造和NW向与EW向构造的交汇部位的制约(葛良胜等,2002),中、晚期岩浆活动与铜(钼)矿化关系密切,末期岩浆活动与金矿化关系密切(梁华英等,2004;彭建堂等,2005)。沿马厂箐岩体发育热液蚀变岩和接触变质岩,主要为各类角岩及矽卡岩,岩体接触带由内向外有Mo-Cu-Au、Ag、Pb、Zn等矿化。

### 1.4 矿脉空间分布特征

宝兴厂矿区呈NE向展布,从东向西可分为金厂箐、人头箐、乱洞山、宝兴厂、双马槽等5个矿段。金矿化主要见于金厂箐、人头箐、双马槽3个矿段,其他矿段金多与铜、钼等伴生产出。金矿化类型主要为构造蚀变岩型,受构造破碎带控制,矿化蚀变带总体沿NE向响水断裂带两侧分布,并集中产出在

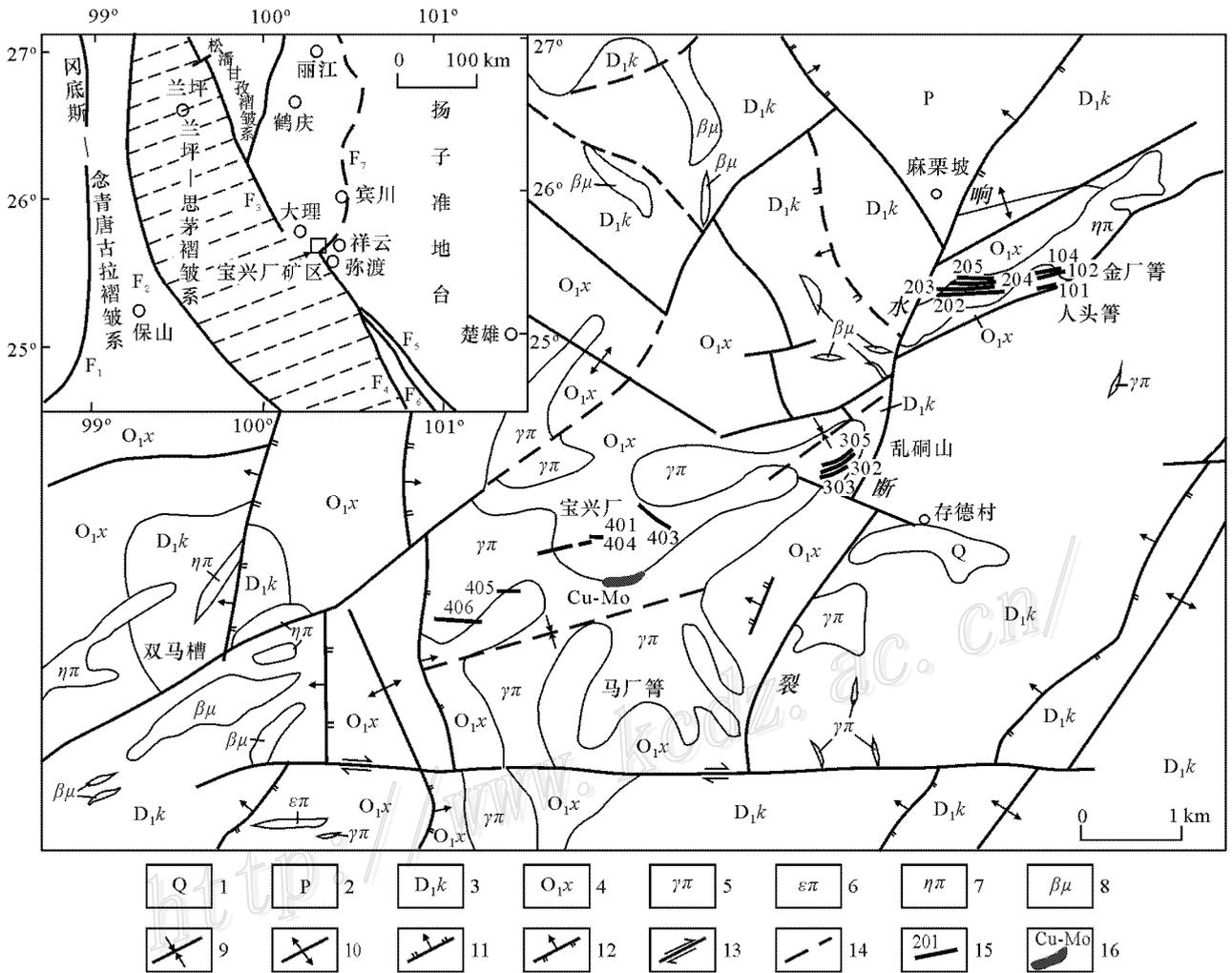


图1 宝兴厂金矿区地质略图(左上角插图为矿区大地构造位置图)据李志群,1998)

1—第四系 2—二叠系茅口组 3—下泥盆统康朗组 4—下奥陶统向阳组 5—花岗岩 6—正长斑岩 7—二长斑岩 8—辉绿岩 9—背斜轴线;10—向斜轴线;11—正断层;12—逆断层;13—平移断层;14—推测断层;15—金矿体及编号;16—铜、钼矿体。F<sub>1</sub>—怒江断裂;F<sub>2</sub>—澜沧江断裂;F<sub>3</sub>—洱海-红河断裂;F<sub>4</sub>—阿墨江断裂;F<sub>5</sub>—哀牢山断裂;F<sub>6</sub>—小山河断裂;F<sub>7</sub>—程海-宾川断裂

Fig. 1 Geological sketch map of the Baoxingchang gold deposit (upper left: geotectonic location map of the ore district) (after Li, 1998)

1—Quaternary; 2—Permian Maokou Formation; 3—Lower Devonian Kanglang Formation; 4—Lower Ordovician Xiangyang Formation; 5—Granite porphyry; 6—Syenite porphyry; 7—Monzonite porphyry; 8—Diabase; 9—Anticlinal axis; 10—Synclinal axis; 11—Normal fault; 12—Reversed fault; 13—Strike-slip fault; 14—Inferred fault; 15—Gold ore body and its serial number; 16—Copper-molybdenum ore body. F<sub>1</sub>—Nujiang fault; F<sub>2</sub>—Lancangjiang fault; F<sub>3</sub>—Erhai-Honghe fault; F<sub>4</sub>—Amojiang fault; F<sub>5</sub>—Ailaoshan fault; F<sub>6</sub>—Xiaojinhe fault; F<sub>7</sub>—Chenghai Bingchuan fault

多期断裂构造复合与多阶段岩脉侵入叠加部位。宝兴厂矿区的5个矿段之间具有等间距分布的特点,虽然总体上呈NE向,但对于各个矿段的矿化脉体整体上具有近EW向展布的特点,似受一条近EW向构造带的控制,现在的NE向格局是受后期构造改造所致。目前区内共发现30条含金矿脉(图1),多呈近EW向产出,矿化较好的有金厂箐矿段101号、102号矿脉和人头箐矿段202号、203号矿脉,主

要矿脉地质特征如表1所示。

### 1.5 主要矿体特征

通过对宝兴厂矿区发现的30条含金矿脉开展地质勘查工作,共圈定14个金矿体,累计提交(332+333+334)金资源量超过20t,达到大型矿床规模。规模较大的矿体主要有金厂箐矿段101号、102号矿体和人头箐矿段202号、203号矿体等。

金厂箐矿段101号矿体是最主要的矿体,其资

表1 宝兴厂矿区主要矿脉地质特征一览表

Table 1 Geological characteristics of main veins in the Baoxingchang ore district

矿段及矿脉编号	产状	规模		金品位/ $10^{-6}$	主要矿化蚀变
		长度/m	厚度/m		
金厂箐					
101	$75^{\circ}/75^{\circ}$	175	5.00	8.70	黄铁矿化、毒砂化、硅化、绢云母化
102	$340^{\circ}/70^{\circ}$	150	2.06	9.96	黄铁矿化、毒砂化、硅化、绢云母化
人头箐					
201	$10^{\circ}/65^{\circ}\sim 75^{\circ}$	160	0.63~2.00	0.19~9.80	黄铁矿化、硅化
202	$10^{\circ}/50^{\circ}\sim 70^{\circ}$	800	0.28~4.22	0.14~26.80	黄铁矿化、褐铁矿化、
203	$10^{\circ}/50^{\circ}\sim 65^{\circ}$	800	0.60~3.38	0.15~8.90	黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、绢云母化
204	$10^{\circ}/60^{\circ}$	520	0.54~2.00	0.00~11.90	黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、绢云母化
205	$15^{\circ}/65^{\circ}$	600	0.70~1.00	0.00~4.21	黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、绢云母化
206	$350^{\circ}/45^{\circ}$	120	1.00~1.50	0.00~1.67	黄铁矿化、高岭石化
乱硐山					
302	$320^{\circ}/35^{\circ}$	300	3.00	1.12~11.00	褐铁矿化、硅化
303	$330^{\circ}/38^{\circ}$	400	0.54~2.09	3.19~7.88	褐铁矿化、高岭石化
305	$320^{\circ}/35^{\circ}$	300	0.23~0.89	1.31~3.51	黄铁矿化、绢云母化
宝兴厂					
404	$160^{\circ}/72^{\circ}$	140	0.92	0.25~9.75	黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、碳酸盐化
406	$190^{\circ}/42^{\circ}$	500	0.55	0.00~2.38	褐铁矿化、硅化
407	$175^{\circ}/72^{\circ}$	400	0.61	9.75	黄铁矿化、孔雀石化、硅化、绿泥石化
双马槽					
501	$312^{\circ}/40^{\circ}$	50	2.00	1.67~4.00	褐铁矿化、硅化
502	$330^{\circ}/60^{\circ}\sim 75^{\circ}$	200	0.57~1.27	3.53~24.20	褐铁矿化、黄铜矿化、硅化、碳酸盐化

源量占该矿段总资源量的71%。矿体赋存于构造破碎蚀变带中,总体产状 $75^{\circ}/75^{\circ}$ ,长度175 m,平均厚度5 m,平均金品位 $8.70 \times 10^{-6}$ ,延深大于342 m。102号矿体:赋存于构造破碎蚀变带中,总体产状 $340^{\circ}/70^{\circ}$ ,长度150 m,平均厚度2.06 m,平均金品位 $9.96 \times 10^{-6}$ ,延深大于200 m。人头箐矿段,202号矿体:赋存于构造破碎蚀变带中,总体产状 $10^{\circ}/65^{\circ}$ ,长度大于500 m,平均厚度2.20 m,平均金品位 $7.50 \times 10^{-6}$ ,延深大于500 m。203号矿体:赋存于构造破碎蚀变带中,总体产状 $10^{\circ}/65^{\circ}$ ,长度800 m,平均厚度2.45 m,平均金品位 $4.01 \times 10^{-6}$ ,延深大于500 m。

## 1.6 矿石特征

宝兴厂金矿的矿石类型比较单一,矿石自然类型属含金硫化物型,工业类型以原生矿石为主,仅地表和浅部有少量氧化矿石及混合矿石,所占比例较少。按矿石结构、构造及矿物种类划分,为含硫化物破碎带蚀变岩型矿石。

矿物组合为黄铁矿-方铅矿-黄铜矿组合、黄铁矿-毒砂-方铅矿组合。矿石矿物主要有自然金、银金矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、白铅矿、车轮矿、铬铁矿、褐铁矿、菱锌矿、孔雀石

等,脉石矿物主要以石英为主,其次为长石、高岭石、白云石、方解石、石榴子石、阳起石、透闪石、绿泥石、石墨、绢云母、黑云母等。

矿石结构主要有叶片状、粒状、半自形-他形粒状、交代残余、压碎和同心圆结构等。矿石构造主要有浸染状构造、稠密浸染状构造、细脉浸染状构造、脉状构造、网脉状构造、条带状构造、皮壳状构造、块状构造等。

区内金的独立矿物较少,矿石中单体自然金较少,主要呈包裹金包裹在黄铁矿和毒砂等硫化物中。自然金粒度微细,主要呈显微-次显微分散状态存在。乱硐山、麻栗坡等处,金主要呈单矿物自然金(银金矿)产出。

## 1.7 围岩蚀变特征

区内次级断裂发育,沿断裂蚀变强烈,主要有硅化、绢云母化、高岭石化、绿泥石化、碳酸盐化等,与金矿化关系密切的有硅化、绢云母化和碳酸盐化。

## 2 成矿期和成矿阶段

该区成矿可分为内生热液成矿期和表生成矿期。内生热液成矿期可分为早期斑岩铜、钼伴生金

矿化和晚期金矿化 2 个大的阶段。并根据矿脉之间的穿插、矿物共生组合及交代关系,每个阶段又可以划分为若干个亚阶段,同岩浆活动多期次演化密切相关。

(1) 斑岩铜、钼伴生金矿化阶段:通常发生在岩体内部或距离岩体不远的内外接触带上,包括 3 个亚阶段,即石英-钾长石阶段:以大规模的硅化和钾化为标志,除少量黄铁矿外,其他硫化物少见;砂卡岩化阶段:以形成各类砂卡岩为标志,与接触带围岩蚀变相对应,金属矿物主要为白铁矿、磁铁矿及少量硫化物,如黄铁矿、辉铜矿等沉淀,沿裂隙两侧生成散点状及网脉状矿化;硫化物-碳酸盐化阶段:是斑岩型铜钼矿化的重要阶段,以形成大量的金属硫化物为标志,主要金属硫化物组合有:黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿,以及稍晚形成的蓝铜矿、砷黝铜矿等。

(2) 金矿化阶段:是该区金矿化的主要阶段,发育在距岩体稍远的围岩之中,包括 4 个亚阶段,即面状白云石-硫化物阶段:以形成面状的白云石化为标志,伴有硅化、绢云母化、绿泥石化等蚀变作用,与之相伴的金属硫化物主要为细粒浸染状黄铁矿、毒砂等,形成毒砂-黄铁矿型矿石;脉状白云石-硫化物成矿阶段:以形成脉状的白云石化为标志,并有大量金属硫化物沉淀,同时伴有一定规模的硅化,是金矿形成的重要阶段之一。金属硫化物有毒砂、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等,形成黄铁矿-毒砂-方铅矿型矿石;石英-硫化物阶段:以比较广泛的硅化作用为标志,形成了一定规模的石英-硫化物脉,也是金矿化形成的重要阶段之一。金属硫化物主要有方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿等;碳酸盐阶段:主要表现为方解石-黄铁矿细脉穿插以前形成的金矿脉,此时形成的黄铁矿一般具有较好的晶形,但基本不含矿。

本区表生作用成矿主要为地表氧化、淋滤和风化作用形成的以褐铁矿-石英脉型和红土型为代表的矿化体。许多以金属硫化物矿化为主的矿体,其地表都发育有褐铁矿的铁帽。在褐铁矿-石英脉型矿石中尚可见有一定量的金属硫化物,一些褐铁矿仍保留有黄铁矿的外形,局部可见黄铁矿的残余,但红土型矿石中只偶见有未完全氧化的金属硫化物颗粒。总体上,本区氧化带不发育,在麻栗坡一带亦仅 10~20 m 延深。

## 3 成矿物质来源

### 3.1 成矿时代

宝兴厂铜、钼、金多金属矿区的岩浆活动具有多期、多阶段的特点,马厂箐富碱侵入岩体为一多期、多阶段岩浆活动叠加侵入的复式岩体,可以划分成 4 期,最早的岩浆活动始于 52 Ma,中期岩浆活动为 42~47 Ma,晚期岩浆活动为 33~37 Ma,末期岩浆活动为 29~32 Ma。而马厂箐铜、钼多金属矿床的成矿主要为 2 期,早期成矿为 37~40 Ma,晚期成矿为 34~35 Ma(彭建堂等 2005)。因此,铜、钼矿床的成矿作用主要与晚期岩浆侵入有关,即晚期的斑状二长花岗岩、花岗斑岩;末期(29~32 Ma)富碱的岩浆活动(碱长花岗斑岩)与金成矿作用关系密切。

### 3.2 矿源层(岩)

矿区金矿脉主要赋存在下奥陶统向阳组第四段( $O_{1x}$ )粉砂岩中。该段地层中发育较多的断裂带,且含金含量较高,为矿化提供了成矿物质来源和容矿空间。向阳组第四段底部有一层厚度大于 100 m 的黑色碳质粉砂岩,金的含量较高,含金达  $(46\sim77)\times 10^{-9}$ ,平均  $56.5\times 10^{-9}$ ,富集系数达 14。金厂箐 xk1 坑中,未受矿化和蚀变影响的黑色碳质粉砂岩含金  $0.07\times 10^{-6}$ ,经热液改造已蚀变退色的粉砂岩含金  $0.02\times 10^{-6}$ ,说明经热液作用有 71% 的金发生了活化迁移,为成矿提供物质来源。因此,下奥陶统向阳组第四段( $O_{1x}$ )黑色碳质粉砂岩是矿区的主要矿源层。另外,海西期辉绿岩含金  $24.58\times 10^{-9}$ ,喜马拉雅期正长斑岩含金  $36\times 10^{-9}$ ,二长斑岩含金  $(20\sim210)\times 10^{-9}$ ,煌斑岩含金  $32.37\times 10^{-9}$ ,也可能为金成矿提供了一定的物质来源。

对金矿源层(岩)的研究表明,由于多期次的构造-岩浆活动,尤其是喜马拉雅末期(29~32 Ma)构造-岩浆活动(即碱长花岗斑岩阶段)与金矿成矿作用关系密切,对早阶段岩石进一步改造并溶萃其中的成矿物质,为成矿提供了丰富的流体、能量。岩体中虽然含有一定量的金,具有提供成矿物质的能力,但金矿体与岩体在空间上并没有明显的联系,在微量元素组合上没有明显的继承性,表明成矿元素金并非岩体所提供。因此,金仅来自奥陶系向阳组地层(何明勤等 2004)。

### 3.3 稳定同位素特征

**硫同位素特征** 毕献武等(1999)对含矿石英脉、矿化角砾的硫同位素组成研究表明  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  相当均一,分布在  $-1.2\text{‰} \sim 4.4\text{‰}$  之间,  $\delta^{34}\text{S}$  值均在  $0\text{‰}$  左右,反映金矿的硫同位素与陨石硫相近,具有上地幔或壳幔混源的特点,来源于地球深部。刘显凡等(2004)对岩体中硫化物的硫同位素组成研究表明,岩体中原生硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  ( $-2.7\text{‰} \sim +3.9\text{‰}$ ),绝大部分集中在  $-0.6\text{‰} \sim +2.4\text{‰}$ ,与陨石硫同位素组成非常接近,说明富碱斑岩的成矿蚀变流体来自地幔,具地幔流体性质,与富碱岩浆有相似的深部源区。因此,富碱斑岩、矿石以及蚀变花岗斑岩的硫同位素组成总体相似,硫化物矿物  $\delta^{34}\text{S}$  值都很接近,围绕陨石硫变化范围窄,说明硫源具有相同的初始来源,主要来自地幔流体。

**氢、氧同位素特征** 前人对矿石中的石英流体包裹体研究(毕献武等,1999;刘显凡等,2004)表明,  $\delta\text{D}$  为  $-85\text{‰}$  左右,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  为  $9.4\text{‰} \sim 10.8\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  为  $1.75\text{‰} \sim 6.34\text{‰}$ 。氢、氧同位素投影点落于岩浆水与大气降水之间且靠近岩浆水区的范围内,表明矿床成矿流体中的水虽然有一定量的大气降水,但以岩浆水为主,推定金矿石成矿流体水主要来源于深部地幔岩浆流体。而富碱斑岩的全岩、石英及长石斑晶的  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $7.3\text{‰} \sim 10.38\text{‰}$ ,  $\delta\text{D}$  为  $-100\text{‰} \sim -107\text{‰}$ ,相当于富碱斑岩的初始岩浆水,表明富碱斑岩基本属于正常-偏低  $^{18}\text{O}$  花岗岩,表明物源主要来自地幔。而蚀变花岗斑岩中的石英斑晶和正长斑岩中的硅化石英的氢、氧同位素组成基本与未蚀变的全岩及石英斑晶、长石氢氧同位素组成相当,  $\delta^{18}\text{O}$  为  $0.56\text{‰} \sim 3.50\text{‰}$ ,暗示富碱斑岩的蚀变与岩浆水有关。 $\delta\text{D}$  值的由高至低的变化( $-107\text{‰} \sim -75.0\text{‰}$ ),表明在富碱斑岩的成矿蚀变过程中有大气降水或地下水的部分加入,但仍以岩浆水为主体。因此,矿石矿物中包裹体水与富碱岩体的同位素组成相似,反映成矿与富碱斑岩来源具有一致性,主要来自深部的地幔,在其上升的过程中有部分壳源物质的加入。

**铅同位素特征** 矿石铅同位素组成  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $18.502 \sim 18.960$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $15.608 \sim 15.992$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $38.014 \sim 40.048$ (葛良胜等,2002),而富碱斑岩铅同位素组成比较稳定,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $18.109 \sim 18.636$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $15.410 \sim$

$15.739$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为  $38.096 \sim 39.094$ ,在 Cannon 铅同位素演化图中落入正常铅的范围内,  $\mu$  模式年龄为正值 ( $18 \sim 470 \text{ Ma}$ ),  $\mu$  值为低于  $9.58$  的低  $\mu$  值钨(刘显凡等,2004)。可以看出,矿石和富碱斑岩铅同位素组成具有相似的变化趋势,矿石铅的变化范围比岩体大,更为复杂一些,显示出以深源铅为主,并有壳源铅的混染,表明富碱岩浆和成矿流体具有统一性。铅的最初和主要来源为上地幔,但在富碱岩浆和成矿流体沿深大断裂上升运移过程中不同程度地加入了地壳铅或地层铅,因而导致铅同位素组成上的差异。

与富碱斑岩成矿蚀变有关的碳酸盐矿物(方解石、白云石)  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-2.7\text{‰} \sim -8.13\text{‰}$ ,大多为  $-5.05\text{‰} \sim -6.8\text{‰}$ ,明显表现出岩浆来源或地幔来源的特点,碳同位素显示富碱斑岩的成矿蚀变流体主体来源于地幔深部(刘显凡等,2004)。有资料显示(Baptiste et al.,1996),黄铁矿流体包裹体中的氢至少在  $100 \text{ Ma}$  以内不可能大量丢失,而宝兴厂多金属矿成矿年龄的上限值约为  $52 \text{ Ma}$ ,说明宝兴厂矿床流体包裹体  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值并未因后生作用的影响而发生明显变化,黄铁矿中流体包裹体的氢同位素组成基本反映了成矿流体的初始氢同位素组成。胡瑞忠等(1997)对含矿石英脉内黄铁矿中流体包裹体的氢同位素组成进行了分析,认为黄铁矿中流体包裹体的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值( $0.46 \sim 2.08 \text{ Ra}$ )大大高于地壳特征值( $0.01 \sim 0.05 \text{ Ra}$ ),在一定程度上与地幔特征值( $6 \sim 9 \text{ Ra}$ ,  $\text{Ra}$  为空气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值)接近,说明流体包裹体中存在有地幔氢,地幔氢的比例应在  $6\% \sim 35\%$  之间,平均约  $25\%$  左右。导致矿床成矿流体的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值高于地壳氢特征值而趋进于地幔氢特征值的原因,可能主要是地幔氢上升过程中遭到地壳氢的稀释结果,具有壳幔混合特征,这种特征继承了与成矿有关富碱斑岩的氢同位素组成特点。

综上所述,宝兴厂多金属矿床成矿流体与富碱的斑岩关系密切,它们具有统一性,属于同一个热力学系统,主要来源于深部的地幔,但在上升运移过程中不同程度地混入了地壳和地层的物质。

## 4 成矿流体物理化学条件

对成矿阶段形成的石英中的流体包裹体研究(何明勤等,2004)表明,流体包裹体以气液两相包裹体为主,含少量  $\text{CO}_2$  三相包裹体及子矿物包裹体,且

表 2 宝兴厂矿区金厂箐矿段流体包裹体成分(据何明勤等 2004)

Table 2 Fluid inclusion composition of Jinchangjin ore block in the Baoxingchang ore district

测定矿物	液相成分/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )					$\text{Na}^+/\text{K}^+$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	气相成分/( $10^{-6}\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ )				
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{F}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$			$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{CO}$	$\text{N}_2$
石英	0.96	6.2	1.3	1.9	3.24	0.16	1.74	32.5	1.28	0	0.06	0
白云石	7.13	1.3	0.1	9.9		5.48	0	14.4	1.72	0	0.01	0

以孤立分散状产出,反映出原生包裹体的特征。因此,石英中流体包裹体的气相和液相成分可代表成矿流体的化学组成。由表 2 可以看出,金矿的成矿溶液是含  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等复杂成分的中低温、中低盐度的热卤水,石英的成矿溶液  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  为 0.16,较小,表明  $\text{Na}^+$  远小于  $\text{K}^+$ 。 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  为 1.74 较高,是富含钾的硫酸盐型热卤水;白云石的成矿溶液  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  为 5.48,较大,表明  $\text{Na}^+$  大于  $\text{K}^+$ 。 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  为 0,是富钠的氯化物型热卤水。气相成分主要是  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ ,微量的  $\text{CO}$ ,成分简单。

杨建琨等(1996)根据碳、氢、氧同位素测定及包裹体化学成分分析认为,铜、钼的成矿热液主要是一种深源地幔的岩浆热液,成矿期温度为  $210\sim 350^\circ\text{C}$ 。金的成矿溶液是一种天水、建造水及岩浆水的混合热液,金主要成矿阶段的成矿温度为  $170\sim 225^\circ\text{C}$ ,平均为  $201^\circ\text{C}$ ,成矿压力为  $(739\sim 1\ 059)\times 10^5\text{Pa}$ ,按压力换算的成矿深度为  $2\sim 4.2\text{ km}$ 。有利于金矿化的氧逸度  $\log f(\text{O}_2) = -38.90$ ,硫逸度  $\log f(\text{S}_2) = -10.7$ ,二氧化碳逸度  $\log f(\text{CO}_2) = -1.72$ 。pH 值 5.05,具弱酸性,氧化还原电位  $E_h = -5.02$ ,显还原性。毕献武等(1999)以马厂箐铜钼伴生金矿化为主,测得早期成矿温度为  $223\sim 352^\circ\text{C}$ (平均  $294^\circ\text{C}$ ),主期成矿温度为  $179\sim 299^\circ\text{C}$ (平均  $226.8^\circ\text{C}$ ),晚期成矿温度为  $170\sim 176^\circ\text{C}$ (平均  $173^\circ\text{C}$ )。表明金成矿阶段的成矿温度为  $170\sim 299^\circ\text{C}$ ,成矿溶液为一种中低温弱酸性的成矿流体。

上述研究表明,从成矿早期到成矿晚期或是从富碱岩浆多期活动的早期到晚期,成矿温度具有明显的降低趋势。铜、钼矿化期成矿温度较金矿化期高,铜、钼矿化主要出现在斑岩体内部或其内接触带,而金矿化主要发生在岩体外接触带,热液演化时间长,运移距离较远,因此温度低于铜、钼矿化。

## 5 成矿机理分析

宝兴厂地区地质条件复杂,构造-岩浆活动频

繁,成矿方式多样,形成了多期、多阶段、多矿种的矿床组合。根据前述研究,对矿区金多金属矿化机理分析如下(图 2)。

奥陶系为一套滨海-深水浅海相碎屑岩夹少量碳酸岩,其中,下奥陶统向阳组第四岩性段岩性为碎屑岩夹泥灰岩,为本区金的成矿提供了矿源层。矿区处于扬子板块西缘活动带,华力西期辉长岩类沿早期构造侵入,多呈岩墙、岩脉产出,对围岩中的金有一定的溶萃作用。燕山期金沙江-哀牢山断裂带发生强烈的 NE-SW 方向挤压剪切作用,形成 NW 方向的褶皱和断裂等。喜马拉雅早期,由于 NE-SW 方向挤压力在本区局部调整,以左旋的剪切拉张作用为主,形成金沙江-哀牢山陆内大型的左行走滑剪切带,岩浆侵入主要受 EW 向隐伏构造带和 NW 向构造带的控制,形成区域上的岩体群。马厂箐岩体有 4 期侵入活动,早-中期富碱侵入岩体,为成矿提供流体、能量,对金成矿起到热机和预富集的作用。随着晚期富碱中酸性岩浆(斑状二长花岗岩、花岗斑岩)的上侵、造岩矿物的不断结晶析出,岩浆中的  $\text{Cu}$ 、 $\text{Mo}$  等成矿金属元素也逐渐溶解到含硫等挥发分的晚期岩浆中,构成富金属元素的成矿热液,由于温度、压力的降低,成矿金属元素与硫结合形成黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿等金属矿物,在边缘相早期结晶的造岩矿物颗粒之间、岩石收缩裂隙或空隙中充填,形成产于岩浆岩体中的浸染状、脉状、网脉状等铜、钼矿床。从富碱中酸性岩浆演化而来的含  $\text{Cu}$ 、 $\text{Mo}$  等的热水溶液向温度、压力、成矿金属元素浓度等降低的方向运移到斑岩体与围岩地层接触带时,热水溶液一方面受到地层中的建造水或由天水演化而来的地下水的混合,一方面不断地将斑岩体中和地层围岩中的  $\text{Cu}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Au}$  等萃取出来,在岩性、构造等有利部位交代、充填形成浸染状、稠密浸染状、带状、脉状、网脉状、块状等铜、钼矿床,并伴生金矿化等。末期偏碱的岩浆活动(碱长花岗斑岩)使先期的地层、岩体一方面形成一系列的断裂构造,一方面又使有机质进一步分解、含水矿物脱水、封闭地层水释放

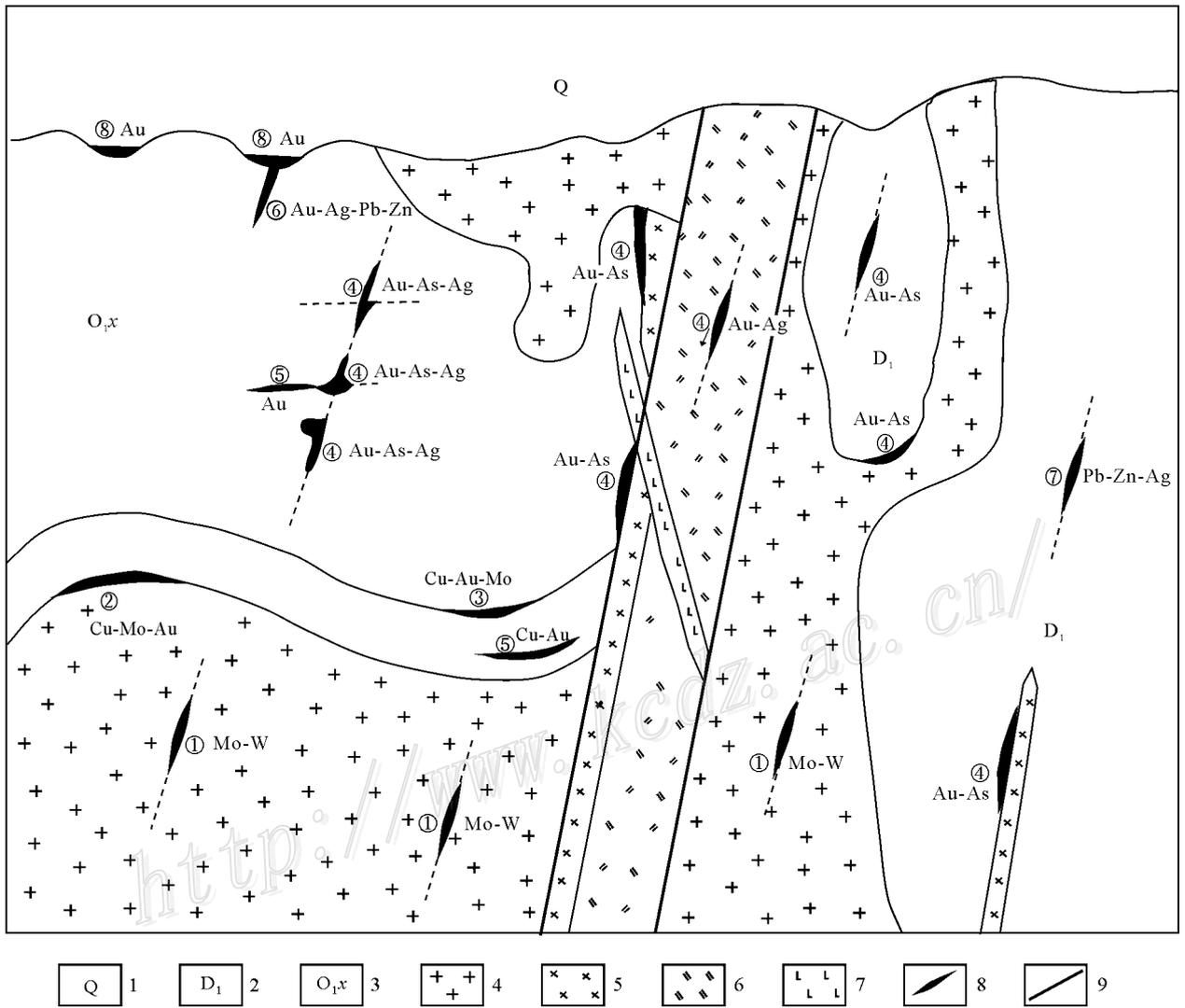


图 2 宝兴厂铜-钼金多金属矿区成矿模式图

1—第四系残坡积物 2—青山组白云质灰岩 3—向阳组砂岩 4—花岗斑岩 5—辉绿岩 6—二长斑岩 7—煌斑岩 8—矿体 9—断层。①斑岩体内钼矿体 ②内接触带蚀变岩型铜-钼-金矿化体 ③外接触带蚀变岩型铜-钼-金矿化体 ④破碎带型金矿体(毒砂-黄铁矿型矿石) ⑤石英脉型金矿 ⑥破碎带型金银矿体(方铅矿-闪锌矿-黄铁矿型矿石) ⑦铅锌银矿 ⑧红土型或构造破碎带中次生富集金矿体

Fig. 2 Metallogenic model for the Baoxingchang Cu-Mo-Au polymetallic ore district

1—Quaternary residual and slope materials; 2—Dolomitic limestone of Qingshan Formation; 3—Sandstone of Xiangyang Formation; 4—Granite porphyry; 5—Diabase; 6—Monzonite porphyry; 7—Lamprophyre; 8—Ore body; 9—Fault. ① Molybdenum ore body in porphyry; ② Cu-Mo-Au mineralization of altered rock type in endocontact zone; ③ Cu-Mo-Au mineralization of altered rock type in exocontact zone; ④ Gold ore body of fracture zone type (arsenopyrite-pyrite type ore); ⑤ Quartz vein type gold deposit; ⑥ Gold and silver ore body of fracture zone type (galena-sphalerite-pyrite type ore); ⑦ Lead-zinc-silver deposit; ⑧ Secondary enrichment ore body in lateritic or structural fracture zone

出来,与天水或由天水演化而来的地下水相混合,并在断裂沟通的地层、岩体中流动,溶、萃取其中(矿源层或矿源岩)主要是地层(矿源层)的 Au、Cu、Pb、Zn 等金属元素,在有利的断裂构造中沉淀形成脉状构造破碎蚀变岩型金矿床、铜多金属矿床。

References

Baqtiste P J and Fouquet Y. 1996. Abundance and isotopic composition

of helium in hydrothermal sulfides from the East Pacific Rise at 13N [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 60: 87-93.

Bi X W, Hu R Z, Ye Z J and Shao S X. 1999. Research on the relationship between A-type granitoid and Cu metallogenetic-taking Machangqing Cu Deposit as an example [J]. Sci. in China (Series D), 36(6): 489-495 (in Chinese).

Ge L S, Zou Y L, Li Z H, Guo X D, Xing J B and Zhang X H. 2002. Geological features and genesis of machangqing Cu-Mo-Au deposit related to the rich-alkali magmatic rock, Yunnan Province [J]. Geology & Prospecting, 38(5): 11-17 (in Chinese with English ab-

- stract ).
- He M Q and Yang S Y. 2004. Geological geochemistry and genesis of Xiaolongtan-Machangqing Cu-Au polymetallic ore deposit in Western Yunnan [ M ]. Beijing : Geol. Pub. Hous ( in Chinese ).
- Hu R Z, Bi X W, Turner G and Burnard P G. 1997. He-Ar isotopic system in pyrite fluid inclusions of Machangqing Cu deposit [ J ]. Sci. in China ( D ), 27( 6 ): 503-508 ( in Chinese ).
- Li Z Q. 1998. Geological features and metallogenic conditions of laterite gold deposits in Yunnan [ J ]. Mineral Resources & Geology, 12( 3 ): 160-166 ( in Chinese ).
- Liang H Y, Xie Y W and Zhang Y Q. 2004. Forming of K-rich alkalescence rock restrict the metallogenic of Cu—Machangqing Cu deposit as an example [ J ]. Natural Science Evolution, 14( 1 ): 116-120 ( in Chinese ).
- Liu X F, Liu J D, Zhang C J, Yang Z X, Wu D C and Li Y G. 2004. Isotopic geochemistry of intrusives and ore-veins from alkali-rich porphyry type deposits in western Yunnan, China [ J ]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 23( 1 ): 32-39 ( in Chinese with English abstract ).
- Peng J T, Bi X W, Hu R Z, Wu K X and Sang H Q. 2005. Determination of porphyry ore and rock forming time of the machangqing Cu ( Mo ) deposit, Western Yunnan Province [ J ]. Acta Mineralogica Sinica, 25( 1 ): 69-74 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang J K and Tang Z G. 1996. Mineralization characteristics and prospective prediction of the Cenozoic hypabyssal porphyry gold deposit in Yunnan Province [ J ]. Beijing Geol., 3 : 27-31 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Y Q, Xie Y W and Tu G Z. 1987. Preliminary Studies of the alkali-rich intrusive rocks in the Ailaoshan-Jinshajiang belt and their relationship with rift tectonics [ J ]. Acta Petrologica Sinica, ( 1 ): 17-25 ( in Chinese ).
- Zhao H. 1995. Metallogenic model of Pb-Cu-Mo-Au deposit related to porphyry of Himalaya period in Zhongdian-Dali-Jinping area [ J ]. Yunnan Geol., 14( 4 ): 333-341 ( in Chinese ).

### 附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军, 邵树勋. 1999. A型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马厂箐铜矿为例 [ J ]. 中国科学( D 辑 ), 2( 6 ): 489-495.
- 葛良胜, 邹依林, 李振华, 郭晓东, 邢俊兵, 张晓辉. 2002. 云南马厂箐(铜钼)金矿床地质特征及成因研究 [ J ]. 地质与勘探, 38( 5 ): 11-17.
- 何明勤, 杨世瑜. 2004. 滇西小龙潭-马厂箐地区铜金多金属矿床地质地球化学及成因研究 [ M ]. 北京: 地质出版社.
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G, Burnard P G. 1997. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系 [ J ]. 中国科学( D 辑 ), 27( 6 ): 503-508.
- 李志群. 1998. 云南红土型金矿床地质特征及成矿条件研究 [ J ]. 矿产与地质, 12( 3 ): 160-166.
- 梁华英, 谢应雯, 张玉泉. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约——以马厂箐铜矿为例 [ J ]. 自然科学进展, 14( 1 ): 116-120.
- 刘显凡, 刘家铎, 张成江, 阳正熙, 吴德超, 李佑国. 2004. 滇西富钾碱性岩型矿床岩体和脉矿同位素地球化学研究 [ J ]. 矿物岩石地球化学通报, 23( 1 ): 32-39.
- 彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠, 吴开兴, 桑海清. 2005. 滇西马厂箐斑岩(铜钼)矿床成岩成矿时限的厘定 [ J ]. 矿物学报, 25( 1 ): 69-74.
- 杨建琨, 唐志国. 1996. 云南省新生代浅成侵入斑岩型金矿成矿特征及找矿预测 [ J ]. 北京地质, 3 : 27-31.
- 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 1987. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩及其裂谷构造关系初步研究 [ J ]. 岩石学报, ( 1 ): 17-25.
- 赵淮. 1995. 中甸-大理-金平地区与喜马拉雅期斑岩有关的铅-铜-钼-金矿床成矿模式 [ J ]. 云南地质, 14( 4 ): 333-341.