

doi:10.3799/dqkx.2011.028

# 个旧东区蚀变花岗岩型锡铜多金属 矿床成矿特征及找矿意义

陈守余<sup>1,2</sup>, 赵鹏大<sup>1,2</sup>, 童祥<sup>3</sup>, 武俊德<sup>3</sup>, 莫国培<sup>3</sup>, 陈兴寿<sup>3</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 云南锡业集团(控股)有限责任公司, 云南个旧 661000

**摘要:** 云南个旧东矿区西部凹陷带岩体内部蚀变花岗岩型 Sn、Cu 多金属矿床是近年来新发现的矿床。通过对矿床地质特征、蚀变分带特征、含矿岩体地球化学组成以及深部找矿远景的系统研究, 认为该类矿床属于个旧东区花岗岩岩浆热液成矿多样性系统的组成部分, 是产于花岗岩岩体边缘相—过渡相的蚀变花岗岩型多金属矿床, 它属于岩浆期后中高温热液矿床。钾长石化、黄铁矿化、萤石化、电气石化与富集成矿密切相关; 该类型矿床的发现使传统的“两楼一梯”成矿模式更新为“两楼一梯+地下室”的成矿模式, 并对云南个旧深部找矿和接替资源补充具有重要的意义。

**关键词:** 蚀变花岗岩; 锡铜多金属矿床; 成矿特征; 深部找矿; 云南个旧。

中图分类号: P618.41

文章编号: 1000-2383(2011)02-0277-05

收稿日期: 2010-11-30

## Metallogenic Characteristics of Western Low Altered Tin-Copper Polymetallic Deposit and Its Prospecting Significance in East Part of Gejiu, Yunnan

CHEN Shou-yu<sup>1,2</sup>, ZHAO Peng-da<sup>1,2</sup>, TONG Xiang<sup>3</sup>, WU Jun-de<sup>3</sup>, MO Guo-pei<sup>3</sup>, CHEN Xing-shou<sup>3</sup>

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Yunnan Tin Company Group, Gejiu 610000, China

**Abstract:** In this paper, tin-copper polymetallic deposit in western low of east part of Gejiu is studied through a systematic analysis of its geological setting, geological characteristics of the deposit, characteristics of alterations zoning, geochemical component of altered granite, and deep exploration experience. The results show that the deposit is a part of diverse magmatic hydrothermal mineralization system, which often occurs in the inner altered granite, especially the edge and transition facies. It is a high-temperature magmatic hydrothermal deposit combining with the post-gas-liquid mineralization by the decomposition and gasification of magma in early stage and the alteration of magma intrusion in later stage. The deposit has close relationship with wall-rock alteration, especially potash feldspathization, pyritization, fluoritization and tourmalinization. The main metallic elements of the deposit include Cu, Sn, W; the elements Ag, Mo, Bi, Cd, In, U are the comprehensive utilized elements. The discovery of this type of deposits has great significance for deep exploration and further resources exploration in Gejiu mining area.

**Key words:** altered granite; tin-copper polymetallic deposit; metallogenic characteristics; deep ore exploration; Gejiu of Yunnan Province.

云南个旧超大型锡铜多金属矿床分布于个旧—右江裂谷与红河裂陷槽交汇处, 构造及岩浆作用强烈, 成矿条件优越; 三叠系个旧组(T<sub>2</sub>g)碳酸盐岩是

最主要的围岩; 燕山期黑云母花岗岩大量产出(约150 km<sup>2</sup>), 隐伏于个旧组下段, 埋深200~1 800 m不等, 是锡铜多金属矿床主要成矿金属元素的重要

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿专项(No. 200653058); 地质过程与矿产资源国家重点实验室科技部专项。

作者简介: 陈守余(1956—), 男, 教授, 博士, 长期从事矿产综合勘查与定量评价的教学与科研工作。E-mail: sychen@cug.edu.cn

物质来源之一。

该矿床是一个百年老矿,研究程度很高,20 世纪末被列为资源枯竭型危机矿山。长期以来对个旧矿区矿产资源的勘查工作一直受到“两楼一梯”成矿模式的制约(罗君烈,1995;庄永秋等,1996),即:在垂向上除了地表砂锡矿外,上层楼为个旧组地层内部的层间氧化矿,下层楼为接触带砂卡岩型锡、铜多金属硫化物矿床;一梯指沿深大高角度断裂分布的脉状矿体;并且对局部发现的岩体内部蚀变花岗岩型锡、铜多金属矿化没有引起足够的重视,通常到岩体接触带过砂卡岩后,见到花岗岩体就终止找矿勘探工作。近三年来,通过对云南个旧东矿区老卡隐伏花岗岩西部凹陷带的岩体含矿性评价、岩体内部蚀变花岗岩中 Sn、Cu 多金属矿床成矿地质特征、矿化富集规律、含矿花岗岩岩性特征、蚀变岩组合与分带性、矿物组合、矿床地球化学特征以及深部找矿远景的系统研究,笔者初步认为该类矿床仍然属于个旧东区花岗岩岩浆热液成矿系统的组成部分,是产于个旧东区花岗岩岩体边缘相—过渡相的蚀变花岗岩型多金属矿床,为岩浆期后中高温热液矿床(陈守余等,2009)。该类型矿床的发现与勘查对个旧矿区岩体内部找矿评价和未来接替资源找矿方向具有重要的意义,对类似的老矿山深部接替资源找矿预测有一定的参考价值。

## 1 矿床地质特征

个旧东矿区花岗岩属燕山中晚期的产物,为壳源重熔型黑云母花岗岩(王新光和朱金初,1992),铝过饱和、富硅、富碱、锡和铜等金属含量高于正常花岗岩。岩体沿北北东向的五子山复式背斜轴部侵入,多隐伏于地下,仅在马拉格矿田的白沙冲、北炮台、卡房矿田的新山等地有小面积出露。隐伏岩体主要有马松和老卡岩体,主要为中细粒黑云母花岗岩或淡色花岗岩,这些隐伏的花岗岩株与个旧矿区的锡、铜、铅、锌、银、钨等矿床的形成有十分密切的关系,是个旧矿区锡多金属矿床的成矿岩体,已探明的大部分金属储量分布在此岩体的接触带及上部围岩中。

新揭示的岩体内部蚀变花岗岩型锡、铜多金属矿床产于老卡岩体西侧凹陷带花岗岩岩体边缘,2007—2010 年陆续施工 10 条勘探线均见到工业矿体,钻探验证见矿深度在地表以下 1 000 m 左右,总体走向为 SN,已控制走向长大于 250 m,倾向为

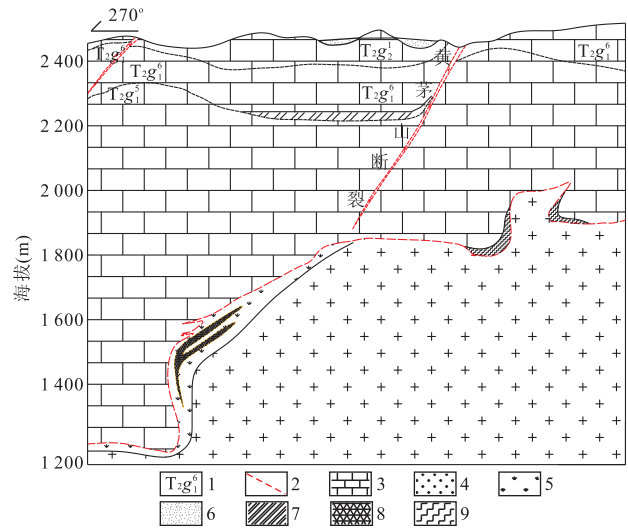


图 1 164 勘探线矿床地质剖面简图(据钻孔资料简编,2010)

Fig. 1 Profile map of deposit geologic feature

1. 个旧组地层不同岩性段代码; 2. 断裂构造; 3. 大理岩; 4. 花岗岩; 5. 蚀变花岗岩带; 6. 地表砂锡矿层; 7. 层间氧化矿床; 8. 接触带砂卡岩型硫化物矿床; 9. 已勘探揭示的蚀变花岗岩型 Cu、Sn 多金属矿床

NE。矿体形态简单,呈透镜状、似层状,内部无夹石,矿体厚度沿走向两端薄中间厚,矿体最厚处达到了 40 余 m。品位较高,Sn、Cu、W 元素均达到工业品位,其中含锡 0.2%~1.34%,局部高达 7.0% 以上,平均品位 0.807%,Cu 0.3%~3.0%,局部高达 16.8%,平均品位 1.058%,WO<sub>3</sub> 局部高达 0.7%。

矿石结构以浸染状、网脉状为主,金属矿物多以星点状、斑点状(含矿较弱)、裂隙网脉状充填、浸染状(含矿较富)分布于蚀变花岗岩中。矿石中的金属矿物结构复杂多样,以交代、嵌入、固溶体分离结构为主,如黄铁矿具有反应边结构,黄铜矿乳浊状分布在闪锌矿中和他形分布在闪锌矿周围等。

通过野外钻孔岩心观察和室内光薄片的镜下鉴定,对 35 件海拔 1 600~1 570 m 标高的钻孔岩心蚀变花岗岩型矿石样品进行了电子探针和环境扫描电镜微区分析(分析单位:中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室,2009 年),发现的主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、锡石、黝铜矿、黝锡矿、白钨矿、黑钨矿、毒砂、硫砷铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄锡矿、锌黄锡矿矿物等 10 余种。脉石矿物主要有长石、石英,其次为萤石、电气石、云母以及微量磷灰石、黝帘石。

除可工业利用的 Cu、Sn、W 元素外,还可综合利用 Bi、Mo、Ag、Cd、In、U 元素。成矿元素赋存特征为:铜主要以黄铜矿、砷硫铜矿形式存在;锡主要以

锡石、黄锡矿形式存在; 锌主要以闪锌矿的形式存在; 钼主要以类质同象的形式赋存于闪锌矿中; 钼主要以类质同象的形式赋存于白钨矿中, 与钨显著相关; 铋主要赋存于黄铁矿、黄铜矿、锌黄锡矿、白钨矿中; 放射性元素铀、钍、钷以铀独立矿物形式存在; 钴、镍普遍赋存于各种金属矿物中, 但含量很低, 难以综合利用。

目前钻孔已控制的 Sn、Cu 金属量达 12 万 t, 并具 W、Bi 多元素共同富集的特点, 伴生有 Mo、Pb、Zn、As、U 等元素的富集; 向岩体内部, 矿化具有逐渐减弱变宽的趋势。

## 2 花岗岩蚀变分带性与成矿关系

蚀变花岗岩型锡、铜多金属矿床主要蚀变类型有绿帘石化、绿泥石化、钾化、绢英岩化、电气石化、萤石化、黄铁矿化、碳酸盐化等, 与成矿富集关系最为密切的是钾化、萤石化、电气石化以及黄铁矿化(表 1)。

各种蚀变分带界线不明显, 多为渐变过渡并且几种蚀变带组合在一起, 蚀变花岗岩型锡、铜多金属富矿体主要产于钾化、电气石化、萤石化带中, 其次是产于钾化、绿帘石化带中。根据矿物之间的接触关系, 可将成矿作用大致划分为 3 个阶段:

第一阶段: 钾化阶段, 主要形成以正条纹长石为主的钾长石, 交代原生的斜长石、黑云母、石英以及早期的钾长石等矿物。成矿流体在钾化区上部进行 H 交代, 形成绢云母和石英。

第二阶段: 硫化物、氟化物阶段, 形成萤石、电气石等氟化物和黄铁矿、黄铜矿等硫化物; 其次有热液成因的白云母和次生石英。

第三阶段: 绿帘石化、碳酸盐化阶段, 形成不同程度的绿帘石、绢云母和碳酸盐化等, 有些仍见原矿物光性, 黑云母常蚀变为绿泥石和白云母等。

## 3 含矿岩体地球化学特征

### 3.1 岩石化学特征

采自个旧东矿区老卡隐伏花岗岩西部凹陷带钻孔岩心的 102 个花岗岩样品, 用化学容量法分析  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_3$  等 11 个常量组分, 其主要特征如下:

表 1 花岗岩蚀变分带模式及找矿意义

Table 1 Alterations zoning model of granite and its prospecting significance

蚀变分带	厚度(m)	找矿意义
大理岩化带	几十至几百	大理岩重结晶程度高、裂隙带矿化显示或形成层间氧化矿指示下覆岩体
矽卡岩	1~5	接触带矽卡岩型锡铜多金属硫化物矿床
绿泥石、绿帘石化带	几至几十	星点状矿化或矿化不明显
钾化—电气石化—萤石化带	几至 50	主要含矿层位, 多元素共同富集, 有利找矿标志层
钾化—绿帘石化带	几至 20	含矿或矿化层
硅化带(含帘石化)	未见底	部分元素富集

(1)  $\text{SiO}_2$  含量较高: 老卡新鲜花岗岩  $\text{SiO}_2$  含量均值为 74.11%, 本次实测的矿化不明显的花岗岩  $\text{SiO}_2 > 74\%$ , 高于黎彤(1962)中国黑云母花岗岩及戴里(1936)世界花岗岩  $\text{SiO}_2$  含量, 以超酸性为特征。受花岗岩蚀变的影响, 含矿蚀变花岗岩  $\text{SiO}_2$  含量明显降低; (2) 富碱性:  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  平均值为 7.19%, 大部分含矿花岗岩  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > 7.4\%$ ; (3) 强富钾:  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$  平均值为 6.8, 最高达到 60.3, 富含矿花岗岩的  $\text{K}_2\text{O}$  含量远远高于其他花岗岩, 反映蚀变花岗岩的钾可能不完全是随花岗岩成岩过程中形成, 而是后期热液蚀变过程中有大量钾的代入; (4) 铝饱和系列: 绝大部分蚀变花岗岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量在 11%~14% 之间, 平均值 11.91%, 低于黎彤(1962)中国黑云母花岗岩及戴里(1936)世界花岗岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量, 岩体含铝指数 ( $\text{Al} / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ ) 一般在 1.0~2.0 之间, 平均值 1.83; (5) 氧化率 ( $Ox = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ ) 较低, 平均值 0.46, 低于中国黑云母花岗岩平均值 (0.80) 及世界花岗岩平均值 (0.88), 表明岩浆还原性较强; (6) 分异指数 (DI) 值高, 一般在 85~95 之间, 表明花岗岩演化分异程度高, 也是含锡花岗岩的共性; (7) 贫基性成分, 含矿蚀变花岗岩基性组分  $\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{CaO} < 4\%$ 。

### 3.2 稀土元素特征

对采于老厂西塘子凹矿段钻孔岩心的 82 个含矿花岗岩样品进行稀土元素 ICP-MS 分析, 用球粒陨石进行标准化做 REE 蛛网图, 矿化蚀变花岗岩与老厂新鲜花岗岩(刘明等, 2007)稀土配分模式基本一致, 说明热液蚀变对稀土配分影响不大, 表现为右倾的平滑曲线,  $\Sigma\text{REE}$  为  $(142.40 \sim 402.6) \times 10^{-6}$ , 具富集轻稀土分布模式 ( $\Sigma\text{Ce} / \Sigma\text{Y} = 13.46 \sim 73.22$ ;

表 2 各蚀变带稀土元素分异特征值对比

Table 2 Rare-earth element differentiation characteristic values of various alteration belts

参数	钾化—萤石化蚀变花岗岩矿石(23)		矿化绿泥—绿帘石化花岗岩(17)		风化花岗岩(11)		老厂岩体(5)
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	均值
$\Sigma Y$	32.83~73.22	44.40	31.70~63.02	31.44	13.46~38.11	27.96	24.94
$\delta Eu$	0.06~0.14	0.11	0.02~0.11	0.09	0.06~0.14	0.09	0.11
$(La/Sm)_N$	1.30~3.59	2.72	0.83~5.14	3.20	2.02~3.72	2.91	2.08
$(Gd/Yb)_N$	0.75~1.23	0.96	0.65~1.47	1.23	0.96~1.45	1.19	1.07
$(La/Yb)_N$	1.99~5.97	3.70	0.67~7.61	6.15	2.80~10.20	5.54	2.76
$\Sigma REE$	142.40~401.70	238.61	174.60~402.60	239.34	143.00~242.20	193.38	110.16

测试单位:廊坊物探化探研究所,2009年;括号内的数据表示参与统计样品数;稀土元素单位 $10^{-6}$ 。

$(La/Yb)_N=0.67\sim 10.20$ ),轻、重稀土的分馏程度较低,轻稀土比重稀土分馏程度略明显些, $(La/Sm)_N=(0.83\sim 5.14)$ , $(Gd/Yb)_N=(0.65\sim 1.47)$ 。可见,研究区蚀变花岗岩稀土配分模式与老厂花岗岩中稀土配分模式为“海鸥”型花岗岩接近,说明蚀变与花岗岩岩浆期后热液关系密切,与华南大多数陆壳重熔性花岗岩也较为相似。铈异常不明显( $\delta Ce=0.855\sim 1.026$ ),钕具强烈的负异常( $\delta Eu=0.02\sim 0.14$ ,均值0.09),暗示着花岗岩经历了高度演化,斜长石分离对岩浆分异演化起了重要的支配作用。已有的研究表明,此类花岗岩与成矿作用关系密切(庄永秋等,1996),其分为钾化—萤石电气石化带(含矿好)、绿帘石—绿泥石化带(矿化较弱)和风化花岗岩3个蚀变带。统计分析稀土元素分异特征(表2)发现,3种蚀变带轻稀土分异程度接近,轻重稀土分异程度略有差别,绿帘石、绿帘石化带轻重稀土分异程度最强(6.15);风化带次之(5.54),矿化好的钾化带最弱(3.69),钾化带和绿泥石化带稀土总量接近,钾化带的轻稀土分异程度最低(2.72),风化带次之(2.91),绿帘石化带最强(3.20);重稀土分异程度强弱顺序与轻稀土分异强弱一致。总体来看,含矿蚀变花岗岩表现为强Eu负异常,轻、重稀土的分馏程度较低,轻稀土比重稀土分馏程度明显。

#### 4 矿床成因初探

(1)本文采取钻孔13个蚀变花岗岩矿石样品作黄铁矿硫同位素分析(测试单位:北京核工业研究所,2009年), $\delta^{34}S$ 值变化范围为 $+4.262\ 7\%_0\sim +6.535\ 2\%_0$ ,均值为 $+5.421\ 3\%_0$ 。庄永秋等(1996)统计了个旧矿区五大矿田矿石中的黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿共65件样品的 $\delta^{34}S$ 值,变化范围为 $-3.1\%_0\sim +9.4\%_0$ ,极差为 $12.5\%_0$ ,平均为 $+2.2\%_0$ ,具有一定塔式效应,并向正偏移,其主

峰突出分布在零区左右,为陨硫特征,表明硫是在地幔或地壳深处高温均一化条件下形成的,具有深源硫特征。

(2)本次选取钻孔蚀变花岗岩矿石样品24个测温片,进行了气液两相包裹体的均一温度测定(表3),直方图显示具有明显的3个峰度区,即:150℃左右、200~250℃和300~380℃左右,可推测成矿过程可能有3个阶段。

(3)含矿蚀变花岗岩带中有大量的中—高温热液形成的特征矿物,如硫砷铜矿、白钨矿、锡石、紫红色萤石等,另外锌黄锡矿与黄铜矿呈固溶体分离形式存在,锌黄锡矿与黄铜矿应是同期形成且黄铜矿中 $(Cu+Fe)/S$ 的值接近于1:1。

依据上述矿化蚀变特征、矿物组合特征以及流体包裹体测温等研究,初步认为个旧东区蚀变花岗岩型Sn、Cu多金属矿床为形成于岩体边缘相—过渡相的中高温岩浆期后热液矿床。

表 3 流体包裹体均一温度

Table 3 Homogenization temperature of fluid inclusion

样号	气液比	均一温度范围(℃)	平均温度(℃)
xag-14	0.9:0.1~0.95:0.05	140.5~333.0	240.56
xag-16	0.8:0.2~0.9:0.1	105.5~308.5	226.29
xag-20	0.8:0.2~0.9:0.1	113.0~348.0	220.13
xag-23	0.9:0.1	152~221.5	193.60
xag-27	0.9:0.2~0.9:0.1	187.0~301.5	232.76
xag-29	0.8:0.2~0.9:0.1	139.5~294.0	215.30
xag-31	0.8:0.3~0.9:0.1	159.5~319.0	209.13
xag-95	0.9:0.2~0.9:0.1	115.0~268.5	219.34
xag-103	0.9:0.1	174.0~373.5	261.14
xag-113	0.8:0.2~0.9:0.1	179.0~319.5	215.67
xag-205	0.9:0.1	167.0~252.5	211.33
xag-222	0.9:0.1~0.95:0.05	148.0~279.0	193.40
xag-227	0.9:0.1	168.5~302.0	233.18
xag-228	0.8:0.2~0.9:0.1	227.0~383.5	281.00

\*均一法流体包裹体测温由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

## 5 结果与讨论

(1)个旧东矿区岩体内部的蚀变花岗岩型 Sn、Cu 多金属矿床是燕山期花岗岩成矿系统的重要组成部分,属于岩浆期后中—高温热液矿床;(2)蚀变分带自上而下依次为大理岩化带—矽卡岩带—风化花岗岩带—绿泥、绿帘石化带—绿帘石、钾化带—钾化、电气石化、萤石化带—钾化、绿帘石花、硅化带—硅化、钾化带,富集成矿与钾化、电气石化、萤石化带密切相关,特别是钾长石伴生黄铁矿化、萤石化、电气石化,对成矿富集有利;(3)该类型矿床是个旧东区“两楼一梯”成矿模式之下的“地下室”矿床。它的新发现对扩大个旧矿区岩体内部找矿具有十分重要的指导意义,特别是马松和老卡隐伏岩体分布面积大,成矿条件相近,具有重要的找矿潜力。(4)建议进一步加强成矿年代学和蚀变花岗岩型 Sn、Cu 多金属矿床空间分布规律的研究,进一步查明成矿规模和找矿潜力。

本文得到了姚书振教授的指导与帮助,在此表示感谢!

### References

Chen, S. Y., 2009. Mineralizing multiformity and deep prospecting of Gejiu super Sn-Cu multi-metal deposit, Yunnan, China. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 34(2): 320—324 (in Chinese with English abstract).

Liu, M., Peng, S. L., Wang, L., et al., 2007. Geological characteristics of Sn-Cu polymetallic deposit in the contact-depression zone of the Laochang-Kafang rockbody in Gejiu. *Minerals and Geology*, 21(4): 395—403 (in Chinese with English abstract).

Luo, J. L., 1995. Mineralizing pattern of Sn, W, Pb-Zn, Ag deposit, Southeast Yunnan. *Yunnan Geology*, 14(4): 319—332 (in Chinese).

Wang, X. G., Zhu, J. C., 1992. Origin, evolution and prospecting significance of granites in the Gejiu tin field, Yunnan Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 16(4): 379—387 (in Chinese).

Zhuang, Y. Q., Wang, R. Z., Yang, S. P., et al., 1996. Multi-metal deposit of Yunnan Gejiu. Seismological Press, Beijing, 108—124 (in Chinese).

### 附中文参考文献

陈守余, 赵鹏大, 张寿庭, 等, 2009. 个旧超大型锡铜多金属矿床成矿多样性与深部找矿. *地球科学——中国地质大学学报*, 34(2): 320—324.

刘明, 彭省临, 王力, 等, 2007. 个旧老—卡岩体接触—凹陷带锡—铜多金属矿地质特征及成因分析. *矿产与地质*, 21(4): 395—403.

罗君烈, 1995. 滇东南锡、钨、铅、锌、银矿床的成矿模式. *云南地质*, 14(4): 319—332.

王新光, 朱金初, 1992. 个旧花岗岩的成因、演化及其找矿意义. *大地构造与成矿学*, 16(4): 379—387.

庄永秋, 王任重, 杨树培, 等, 1996. 云南个旧锡多金属矿床. 北京: 地震出版社, 108—124.