云南个旧锡矿的玄武岩成矿

黎应书[1],秦德先[1],党玉涛[2],薛传东[1],谈树成[3],洪 托[1]

1. 昆明理工大学 矿产地质研究所,昆明 650093
2. 云南锡业集团公司,云南 个旧 661000
3. 云南大学 资源环境与地球科学学院,昆明 650031

摘要:个旧锡矿产于个旧东区,是一个以锡铜为主的超大型多金属矿床,具有火山沉积成矿的某些特征。因遭受燕山期花岗岩的叠加改造,区内个旧组卡房段中玄武岩遭受强烈的变质,它又具有花岗岩热液成矿的特征。区内玄武岩的地质地球化学特征表明,印支期玄武岩中的 Sn、Cu、Pb、Zn、Ag 和 Au 的质量分数大多数高于世界玄武岩平均值的若干倍;矿石硫化物的硫同位素 $\delta^{34}S$ 为 - 1.5‰～4.0‰,平均 +0.207‰,在幔源硫附近;铅同位素模式年龄分为两组:第一组为 180～240 Ma,反映了印支期的火山沉积成矿作用;第二组为 80～140 Ma,反映了燕山期花岗岩的叠加改造成矿作用。区内印支期玄武岩为个旧锡铜多金属矿床的形成提供了主要的成矿物质,与成矿有直接联系。

关键词:印支期玄武岩成矿;燕山期花岗岩热液叠加-改造成矿;锡矿床;云南个旧

中图分类号:P618.44 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-5888(2006)03-0326-010

Mineralizations in Basalts of the Gejiu Tin Deposit in Yunnan Province

LI Ying-shu[1], QIN De-xian[1], DANG Yu-tao[2], XUE Chuan-dong[1], TAN Shu-cheng[3], HONG Tuo[1]

1. *The Geological Institute of Mineral Deposit, Kunming Uviversity of Science and Technology, Kunming* 650093, *China*
2. *Yunnan Tin Corporation, Gejiu, Yunnan* 661000, *China*
3. *Faculty of Resources and Geoscience, Yunan University, Kunming* 650031, *China*

Abstract: Located in eastern Gejiu area, the Gejiu tin ore deposit is a super-large polymetallic deposit dominated by tin and copper mineralization and featured by characteristics of the volcano-sedimentary ore deposits. Reworked by granites of the Yanshanian epoch, the basalts of the Gejiu Formation underwent intense metamorphism. The authors deal with the geological and geochemical features of the basalt and related mineralization in the area. The results of the research are: The contents of Sn, Cu, Pb, Zn, Ag and Au in the Indosinian basalt in the area are higher than those in average basalt of the world; The sulfur isotopes of sulfides in the deposits are between - 1.5‰ and 4.0‰, similar to those of the mantle; Model ages of lead isotopes of the ores can be divided into two groups: The first group ranges from 180 Ma to 240 Ma, which represents basic volcano-sedimentary mineralization of the Indosinian epoch, while the second group ranges from 80 Ma to 140 Ma representing the superimposed mineralization of the Yanshanian granite. It's believed that the Indosinian basalt provided the ore-forming materials for the ore deposit and was directly related to the mineralization in the area.

收稿日期:2005-10-12

基金项目:国家"十五"科技攻关项目(2004BA615A - 03);云南省自然科学基金项目(2003D00008Q)

作者简介:黎应书(1966-),男,贵州遵义人,高级工程师,博士研究生,主要从事矿产经济和综合信息成矿预测研究,E-mail:gzsgjhclys@126.com

通讯联系人:秦德先(1939-),男,云南楚雄人,教授,博士生导师,主要从事综合信息成矿预测研究。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words: mineralization in the Indosinian basalt; superimposition of the Yanshanian granite; tin deposit; Gejiu, Yunnan Province

个旧锡矿以开采历史悠久的超大型锡-多金属矿床而闻名中外。但近年来,矿山资源发生危机,急需加强找矿研究。个旧矿区的玄武岩过去一直被认为是辉绿岩,根据其产状(与地层产状一致,与地层同步褶曲)和岩石的结构构造,作者认为是玄武岩。关于个旧锡矿床成因,过去多数人持"花岗岩岩浆期后气化热液成矿"观点[1~5]。值得注意的是,随着矿区内越来越多的深部硫化物型矿床的发现,尤其是陆续发现了新的层状型矿体,许多人开始对个旧锡矿的花岗岩成矿模式提出质疑[6~10]。金祖德[6,7]曾明确指出个旧地区存在非热液成因的层间赤铁矿型锡矿,并认为是典型的三叠纪同生沉积矿床;彭张翔[8]认为个旧锡矿为一成因比较复杂的层控型锡-多金属矿床,已有的花岗岩成矿模式不完全符合个旧矿区的实际情况;周建平等[9]在探讨滇东南成矿带锡多金属矿床成因时,通过对滇东南个旧、白牛厂、都龙等超大型块状锡多金属硫化物矿床的对比研究,提出过层状硫化物矿体主要是海底喷流热水沉积成因而不是岩浆成因,燕山期花岗岩浆的侵入只是对层状矿体进行了热液叠加改造的观点;张欢等[10]认为海底喷流形成硫化物时携带 Sn,燕山期花岗岩浆的侵入使得 Sn 富集成矿,玄武岩的作用一直未引起重视;秦德先等[11,12]根据成矿大地构造演化、成矿作用、矿床地质和成矿时代,将个旧锡矿床的成矿作用划分为 3 期,即印支期海底基性火山-沉积成矿作用、印支期海底喷流-沉积成矿作用、燕山期花岗岩叠加改造成矿作用。矿床在空间上构成了"两楼一梯"的结构模式,即"下层楼"为层状火山-沉积铜、锡(金)矿,"上层楼"为层状喷流热水沉积锡、铅(银)矿,"一梯"为花岗岩叠加改造成矿形成的不规则状和脉状锡、铅、锌、银矿。笔者等[13]发现在国内外与基性、超基性岩有关的锡矿床也不乏其例。本文对个旧锡矿东区玄武岩的成矿作用进行了探讨。

1　地质背景

个旧矿区地处环太平洋构造域与特提斯构造域的复合部位,位于扬子地台与华南加里东地槽过渡带的海西—印支期右江陆缘裂谷盆地西南部的一个断陷盆地(裂陷槽)内。出露地层主要为三叠系碳酸盐岩及砂、页岩,中三叠统个旧组灰岩、白云岩、玄武岩。构造是由印支期个旧裂陷槽、近南北向个旧断裂及岬界山断裂的次级构造组成,褶皱和断裂纵横交错,节理和裂隙较为发育,具多期活动特征。岩浆活动强烈而复杂,海西运动和印支运动使拉张坳陷带发生强烈的构造变形和多次海底火山活动。个旧锡矿地处华南地槽褶皱区右江地槽褶皱带西缘。

印支期的基性岩浆活动在个旧地区至少有 3 期:中三叠世安尼期的火山岩,呈北东向出露或隐伏于松树脚矿田的麒麟山—老厂—卡房—田心坝子一带,主要产于个旧组底部(T_2g_1)地层中,由 1、2 或多层构成,厚数米到百余米,一般 20～50 m;中三叠世拉丁尼克早期的火山岩分布于水塘寨—保和—木花果及木卜岭一带的法郎组下部(T_2f_1)泥质岩层中,在保和地区可见两层,单层厚 10～20 m;中三叠世拉丁晚期—诺利克期火山岩,主要分布在贾沙向斜轴部的林河村—尼得、德胜冲一带。活动中心在他白以南,此处由碳酸盐岩和泥质碎屑岩、熔岩及凝灰岩构成的火山岩系,总厚度可达 1 800 m 左右,可见 7 层熔岩,单层厚数十米到 200～300 m 不等,东、西两侧火山岩系变薄,熔岩逐渐缺失而凝灰岩则分布甚广。

个旧东矿区岩浆活动除海西—印支期基性火山作用外,还有燕山期强烈的重熔花岗岩作用。根据汪志芬[2] Rb、Sr 同位素年龄测定结果,马拉格—松树脚黑云母花岗岩岩体等时线年龄为(87.83 ±3.1) Ma,老厂—卡房花岗岩岩体等时线年龄为(86.3 ±2.3) Ma。

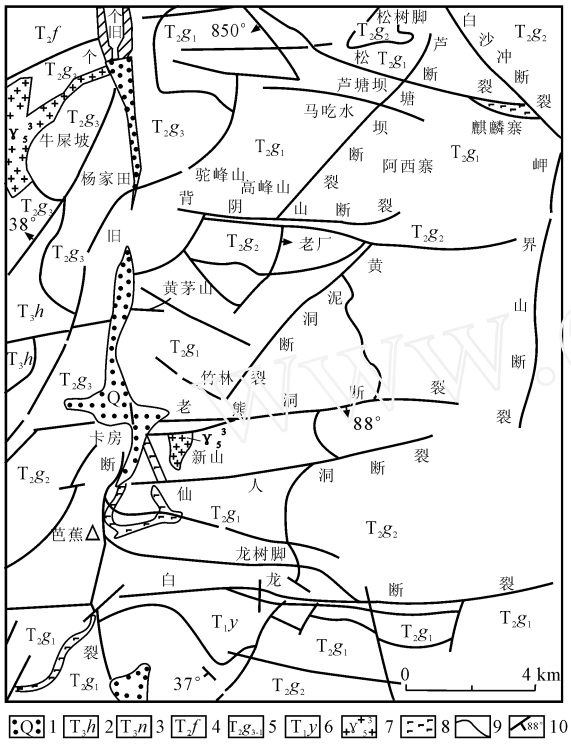
个旧锡矿区以南北向个旧断裂(小江岩石圈断裂南延部分)分为东、西两个矿区(图 1)。个旧锡矿主要产于东矿区,中三叠世安尼期的火山岩也分布在东矿区,本文研究的重点亦是本期火山岩。

2　矿床地质特征

通过系统观察和研究发现,不论是产在花岗岩接触带附近的矿体,还是产在远离花岗岩的矿体,在产状、矿物组合、矿石组构等方面具有明显的同生沉积特征。

老厂和卡房矿田的层状铜锡矿体分布在玄武岩上下盘 $T_2g_1^{1-5}$ 薄-中厚层状含泥质条带大理岩分界

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

图1 个旧东区地质略图(据云南有色地质局308队资料(1984)修改)

Fig. 1 The geological sketch map in the east of Gejiu diggings

1. 第四系;2. 上三叠统火把冲组砂页岩;3. 上三叠统鸟格组砂页岩;4. 中三叠统法郎组砂页岩、灰岩夹玄武岩;5. 中三叠统个旧组白泥硐段、马拉格段、卡房段灰岩、白云岩夹玄武岩;6. 下三叠统永宁镇组砂页岩夹灰岩;7. 燕山期花岗岩;8. 印支期玄武岩;9. 地层界线;10. 断裂及产状

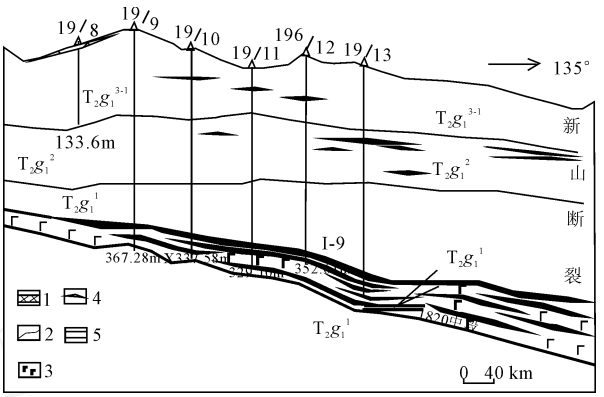


图2 卡房矿田1-9#矿体19线地质剖面图

Fig. 2 The geological section map of the No. 19 line of the No. 1-9 orebody in Kafang orefield

1. 断裂及名称;2. 地层分界线及名称;3. 玄武岩;4. 矿体;5. 1820中段

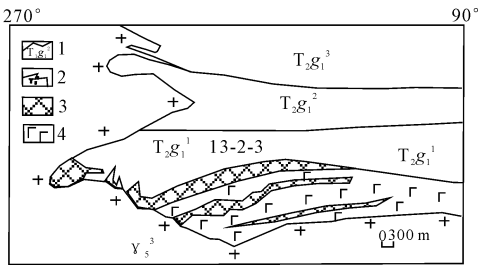


图3 老厂矿田13-2-3矿体124线地质剖面图

Fig. 3 The geological section map of the No. 124 line of the No. 13-2-3 orebody in Laochang orefield

1. 地层分界线及名称;2. 花岗岩;3. 硫化矿;4. 玄武岩

面、层内,呈层状、似层状、透镜状,一层或多层平行岩层层理延伸,产状与围岩一致。规模较小的矿体呈板状、扁豆状,常呈多层(最多9层)沿层产出。矿体与地层可同步褶曲(图版1,2),连续性好(图2、3)。玄武岩及矿体中往往还包夹数层灰岩夹层或透镜体。矿体厚度或品位一般不受与后期侵位的花岗岩接触带距离影响。但矿体不同程度地经受了燕山期花岗岩热液的叠加和改造作用。当矿体底部或侧部花岗岩接触带成凹槽状时,矿体变富变厚,且成多层次产出,形成与接触带矿体相连的多层次分支复合矿体。

花岗岩浆侵入于玄武岩底板时,受玄武岩层阻滞隔挡,并向灰岩扩张交代,穿过玄武岩层后,又向玄武岩层以上的灰岩扩张交代,造成空间上花岗岩株呈超覆的蘑菇状岩体。凹兜矿体即赋存于花岗岩两层蘑菇伞盖状之间的空间内,其实这种矿体原先在花岗岩浆入侵之前就已存在。在矿山采矿过程中,也证实这种"凹兜矿"实际上是夹于玄武岩内的层状矿体,并非沿花岗岩凹兜部位产出的接触带型矿体。

矿石中常见金属矿物有毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、铁闪锌矿、菱铁矿、辉铜矿、自然铜、自然铋、辉铋矿、锡石等;脉石矿物有方解石、阳起石、透闪石、金云母、萤石、石英等。金属矿物生成顺序大体为:毒砂→磁黄铁矿→自然铋→辉铋矿→黄铜矿、铁闪锌矿、黄铁矿、方铅矿→菱铁矿、黄铜矿,并且不同成矿温度的矿物大量共生在一起。而锡石形成于各个阶段,与上述各种矿物均有共生关系。氧化矿石有赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿以及蓝铜矿、孔雀石等。据镜下观察,黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿、毒砂、闪锌矿等硫化物都有两次或两次以上的成矿作用。包裹体测温(均一法)[14]显示,成矿作用温度范围宽,与硫化物共生的锡石为 193～361 ℃,石英为 195～273 ℃,在不同成矿阶段都有生成。

矿石中的矿物多呈粒状、柱状、针状的自形、半自形或它形结构及重结晶结构等。如黄铁矿、毒砂、锡石等多呈自形、半自形粒状结构,部分锡石还呈集合体或晶簇产出,磁黄铁矿、黄铁矿及部分浸染状黄铁矿则多呈半自形、它形粒状结构。矿石构造主要有块状、条带状、层纹状、斑点状或浸染状、角砾状、网脉状等,氧化矿石有土状、块状、多孔状等次生构造。其中,普遍发育纹层构造和条带构造,层纹清晰。在老厂矿田花岗岩东凹兜带的 13 - 2 - 3# 矿体中,发现含锡黄铁矿矿石、磁黄铁矿矿石、黄铜矿矿石等角砾为白云石和玄武质凝灰岩胶结而成的角砾状构造,并且发育明显的层理和包卷构造。这种构造可能是矿石沉积后沿盆地斜坡下滑垮塌,使矿石发生破碎堆积而成,或者是由同生断裂伴生的一种碎石流,而后被同生沉积物胶结而成。

矿石中金属元素、氟化物、氧化物的质量分数如下:Cu 为 0.32 %～7.07 %,平均为 1.27 %;Sn 为 0.21 %～5.84 %,平均为 0.91 %。Bi、Ag、S、As、CaF_2 平均值分别为 0.09 %、25.24 ×10^{-6}、10.66 %、1.35 %、7.64 %;WO_3 分布极不均匀,仅部分达伴生工业指标;Au 多大于 0.10 ×10^{-6},一般富集于黄铜矿、磁黄铁矿和自然铋中,其中磁黄铁矿和黄铜矿分别含 Au 0.38 ×10^{-6} 和(0.083～1.65) ×10^{-6}。

3　玄武岩特征

3.1　岩石学特征

玄武岩稳定赋存于个旧组卡房段底部($T_2g_1^1$),厚 20～140 m。中间夹有延伸稳定的碳酸盐岩薄层(厚度一般不超过 7～8 m),见有生物化石。在老厂矿田塘子凹、湾子街矿段的 $T_2g_1^5$ 层位中也产有玄武岩。其中多见气孔、杏仁构造等[14]。主要矿物为含钛普通辉石、斜长石(An = 58～77)、透闪石、橄榄石及少量呈橄榄石假象的绿泥石,呈斑状结构或变余斑状结构、间隐结构、间粒结构、间片结构、交织结构及拉斑玄武结构(图版 3、4)。后期的阳起石化、金云母化及绿泥石化等蚀变强烈。

3.2　岩石化学成分

本研究采集 24 件样品送云南省地质矿产勘查开发局中心实验室测试,并根据王学昆[15]和云南省有色地质局 308 队[16]部分已有成果,玄武岩氧化物质量分数如下:SiO_2 为 38.78 %～45.32 %,平均 42.37 %,查氏特征值 Q = - 22.33～- 6.50,平均 - 15.54,均为负值,属硅不饱和。富碱,K_2O 为 1.06 %～4.50 %,平均 2.67 %;Na_2O 为 0.93 %～2.43 %,平均 1.44 %,$K_2O/Na_2O > 1$。高钛,TiO_2 为 2.02 %～3.69 %,平均 3.17 %。均与大陆碱性橄榄玄武岩相当。其它化学成分变化范围为:Al_2O_3 为 10.06 %～14.52 %、Fe_2O_3 为 0.55 %～10.73 %、FeO 为 4.80 %～11.63 %、CaO 为 6.10 %～9.97 %、MgO 为 8.52 %～14.25 %,以 MgO、FeO 含量高,相对贫 Al_2O_3 为特点。M/F = 1.13～1.85,FeO/(FeO + Fe_2O_3) = 0.65～0.86,与碱性玄武岩相近。特征数值 a = 4.85～9.33,平均 7.15,c = 3.57～7.35,平均 5.19,b = 29.20～40.71,平均 35.68,s = 47.11～56.70,平均 51.98,Q = - 22.33～- 6.50,平均 - 15.54,a/c = 0.92～2.29,平均 1.46。按 Irvine 等(1971)硅-碱图划分火山岩系列,大都属于碱性玄武岩,部分属于亚碱性系列(图 4);在 Wright (1969)的 AR - SiO_2 图解中,落入过碱性—碱性岩系中。里特曼指数普遍为正值,σ = 6.37～58.56,平均 24.78,大于 4;皮科克指数 CA = 42,小于 51。Fe_2O_3、FeO 和里特曼指数变化范围较大,是由于该期火山活动至少具有两个喷发阶段($T_2g_1^1$ 和 $T_2g_1^5$),而各个阶段火山岩的化学成分又有所差异以及燕山期花岗岩的改造导致印支期的玄武岩遭受到不同程度的蚀变所致。

在 AK - OK 图解中,大都落在大陆玄武岩区,部分落入大陆裂谷玄武岩区,个别落于大陆碱性玄武岩与岛弧玄武岩区(图 5)。

3.3　主要成矿元素

本研究采集 28 件样品送国土资源部宜昌矿产地质研究所岩矿测试室和云南省地质矿产勘查开发局中心实验室测试,加上王学昆[15]和云南省有色地质局 308 队部分成果①,区内玄武岩中主要成矿元素质量分数如表 1 所示,Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Au 质量分数大多数比世界玄武岩中的平均质量分数都高,尤其是 Sn、Cu、Pb、Zn 更高。锡质量分数为(2.10～1 200.08) ×10^{-6},富集倍数为 1.4～800,以

① 云南省有色地质局 308 队. 个旧矿区地化模式研究报告. 1986.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

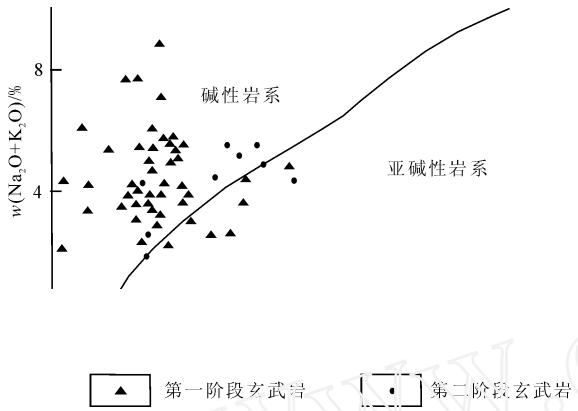


图4 个旧东区玄武岩 SiO_2 - (Na_2O + K_2O)图解

Fig. 4 SiO_2 - (Na_2O + K_2O) diagrammatization of basalt in Gejiu Eastern area

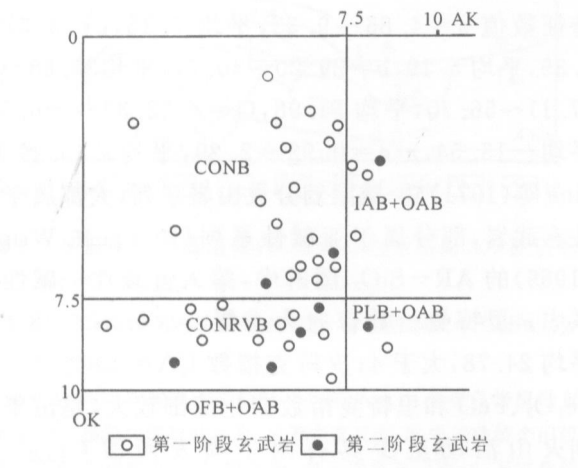


图5 个旧东区玄武岩 AK- OK图解

Fig. 5 AK- OK diagram of basalt in Gejiu eastern area

CONB. 大陆玄武岩区;CONRVB. 大陆裂谷玄武岩区;OAB. 大陆碱性玄武岩区;IAB. 岛弧玄武岩区;OFB. 大洋玄武岩区;PLB. 大洋斜长玄武岩区;AK = Al_2O_3 - TFeO/2 - $2TiO_2$;OK = MgO + $2TiO_2$ - $3K_2O$

塘子凹火山岩中较高;铅质量分数为(6.40～189.79) $\times10^{-6}$,富集倍数为0.8～23.72,以竹叶山火山岩中最高;铜质量分数为(8.1～4 819.05) $\times10^{-6}$,富集倍数为0.081～48.19,以竹叶山玄武岩中最高,而在塘子凹较低;锌质量分数为(76.95～555.05) $\times10^{-6}$,富集倍数为1.1～2.5。此外,金、银等富集系数一般均较高。这种成矿元素的高质量分数为个旧锡多金属矿床的形成提供了一定的成矿物质。此外,通过对个旧东区采集的120件样品的微量元素进行R型聚类分析的结果(图6)可以看出,Cu与基性岩的特征元素Cr、Co、Ni在相关系数0.94的水平上聚为一类,Sn与基性岩的特征元素Cr、Co、Ni在相关系数0.87的水平上聚为一类,说明Sn和Cu都可能来自基性岩。

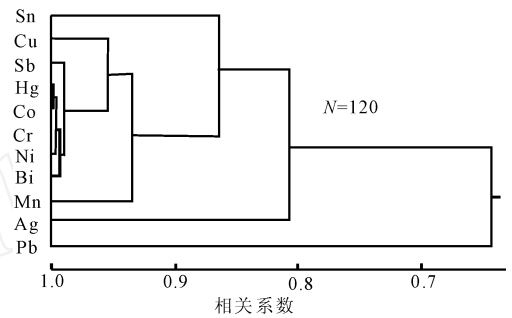


图6 个旧东区微量元素R型聚类分析谱系图(n = 120)

Fig. 6 R-type clustering analysis pedigree map of trace elements in Gejiu eastern area

据伍勤生等[16]资料,卡房和麒麟山玄武岩的($^{87}Sr/^{86}Sr)_i$分别为0.704、0.706,也佐证了玄武岩系幔源成因。

4 讨 论

对比矿床围岩的三叠系个旧组碳酸盐岩、花岗岩和玄武岩主要成矿元素分析结果(表2、3)可知,玄武岩Cu、Sn、Ag、Au、Pb等背景值均很高,部分玄武岩岩石样品中,可见锡石微包体(5～20 μm);而与矿床接近和无矿化的花岗岩体均很低。玄武岩与Sn、Cu矿体的关系显得更为密切,是Sn、Cu的主要来源。从表2看,竹叶山矿段13 - 2 - 3#矿体中具有较高的Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Sb、As等元素,与变质玄武岩围岩中相应元素含量变化规律基本一致,反映两者的成因联系。

矿石、围岩稀土元素的组成表明,ΣREE较低,Eu、Ce轻度亏损,配分模式呈右倾斜,轻稀土弱富集。矿石微量元素相关分析及聚类分析表明,在$r = 0.87$水平下,Sn、Cu、Ag的相关性很好,可聚为一类(图4)。一般Cu与Ti、V、Cr、Co、Ni等亲基性岩元素关系密切,反映Sn与Cu、Ti、V、Cr、Co、Ni等元素在成矿流体系统中具有相同的地球化学行为和演化趋势。此外,超基性岩还表现出Sn、Cu质量分数强波动以及近矿负异常等矿源岩特征。

按传统花岗岩热液矿床成矿理论,多金属矿床往往以花岗岩为中心,向周边从高温到低温矿床呈环带状分布,依次为Sn、Cu→Cu→Pb、Zn。而该类

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　个旧东区玄武岩中主要成矿元素平均质量分数

Table 1　The major trace element compositions of basalt in Gejiu eastern area　　$w_B/10^{-6}$

采样地点	样品数量	Sn	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
新建矿	4	2.28 (2.10～2.50)	90.93 (80.10～107.00)	12.23 (6.40～15.00)	135.75 (80.00～167.00)		0.08 (0.07～0.10)
麒麟山	7	4.94 (3.32～6.03)	23.61 (13.28～28.63)	32.33 (28.93～37.02)	99.80 (76.95～118.40)		0.06 (0.04～1.00)
卡房	34	120.09 (51.05～180.30)	931.92 (631.67～1835.84)	98.76 (33.98～145.29)	154.00 (103.03～197.52)	0.51 (0.33～1.17)	0.64 (0.51～1.12)
竹叶山	10	186.54 (73.88～301.08)	2913.54 (2 083.21～4 819.05)	84.28 (23.95～155.38)	367.00 (189.21～555.05)	1.46 (0.88～3.05)	0.02 (0.01～0.04)
塘子凹	4	750.00 (382.12～1 200.08)	18.00 (8.10～29.88)	12.00 (8.32～15.08)	170.00 (93.67～288.07)	2.40 (1.51～3.34)	0.10 (0.07～0.19)
老厂	19	99.20 (40.12～202.66)	329.0 (253.38～733.99)	73.70 (44.38～189.79)	204.00 (122.85～314.83)		
世界基性岩		1.50	100.00	8.0	130.00	1.00	

测试单位:国土资源部宜昌矿产地质研究所岩矿测试室和云南省地质矿产勘查开发局中心实验室;括号中为质量分数变化范围

表 2　老厂矿田竹叶山 13 - 2 # 矿体主要成矿元素质量分数

Table 2　Trace element compositions of ore 13 - 2 of Zhuyeshan in Laochang ore area　　$w_B/10^{-6}$

序号	岩性	样数	Sn	Cu	Pb	Zn	Zn/(Pb + Zn)	Ag	Sb	As	Be	W
1	花岗岩	9	38.6	105.0	105.0	789.0	0.883	0.5	0.8	88.1	4.6	36.1
2	变质玄武岩	19	99.2	329.0	73.7	204.0	0.735	1.3	0.6	27.4	9.0	9.1
3	透辉石石榴子石夕卡岩	8	233.0	349.4	61.3	238.0	0.795	1.2	4.6	33.9	40.1	6.7
4	Sn、Cu 硫化矿体	3	11 440.0	1 770.0	186.0	1 600.0	0.896	7.1	22.7	2 301.0	38.9	37.9
5	Sn、Cu 氧化矿体	5	3 264.0	1 535.0	1 000.0	2 000.0	0.667	49.5	113.4	6 112.0	57.9	147.0
6	强矿化碳酸盐岩	21	368.0	132.0	8.2	211.0	0.963	1.1	4.1	122.0	3.5	59.9
7	大理岩	97	9.6	21.0	61.1	214.0	0.778	0.3	1.9	13.7	0.2	2.8
8	白云质大理岩	12	6.4	8.0	38.6	106.0	0.733	0.3	2.0	8.7	0.1	0.8
9	白云岩	13	7.4	7.2	22.8	85.6	0.790	0.3	2.5	4.2	0.1	0.8
10	卡房矿田玄武岩		184.0	286.0	63.0				125.0			
11	卡房新山花岗岩		46.0	33.0	58.0				45.0			

序号	岩性	样数	Mo	Bi	Ni	Co	Ga	In	Cd	Li	Rb	B
1	花岗岩	9	3.0	11.6	6.2	3.0	23.6	0.7	2.1	49.6	548	14.9
2	变质玄武岩	19	2.2	4.7	85.7	61.2	20.5	3.5	1.3	96.5	293	17.6
3	透辉石石榴子石夕卡岩	8	1.9	43.9	25.9	28.3	20.0	5.9	0.3	30.2	32.8	119
4	Sn、Cu 硫化矿体	3	3.3	1.4	127.0	21.6	20.8	7.4	40.2	145.0	228	30.3
5	Sn、Cu 氧化矿体	5	47.0	225.0	35.6	41.5	8.8	52.7	121.0	233.0	78.0	80.4
6	强矿化碳酸盐岩	21	4.6	9.9	23.4	9.4	4.5	0.9	0.2	13.3	31.6	33.0
7	大理岩	97	1.6	0.7	14.8	4.0	2.1	0.8	0.6	14.1	19.6	15.2
8	白云质大理岩	12	1.2	0.2	12.2	2.0	1.5	0.5	0.1	9.2	14.3	10.2
9	白云岩	13	1.3	0.8	9.4	2.5	1.5	0.5	0.1	4.4	7.8	9.3

注:据云南省有色地质局 308 队等. 个旧矿区地化模式研究报告,1986

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

型铜锡多金属矿床不存在类似的环带状分带现象,而是垂向上为上 Sn 下 Cu,平面上为 Cu、Sn、W、Pb 矿体组成的共生矿床。其中,Cu 矿体分布面积较广泛,从中心到外围均有产出。

采集围岩和矿石中硫化物单矿物硫同位素分析样品共 21 件,送宜昌地质矿产研究所测试,加上前人分析的样品 11 件[2,4],共 32 件样品。矿床矿石硫化物的 $\delta^{34}S$ 为 -2.5‰～4.0‰,平均 0.207‰,变化范围很窄,靠近零值附近(图 7),与矿区个旧组地层中同生黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值(11.3‰)相差甚远。显示矿床成矿物质的主要组分硫来源单一,主要来自深部的地幔[17～20]。

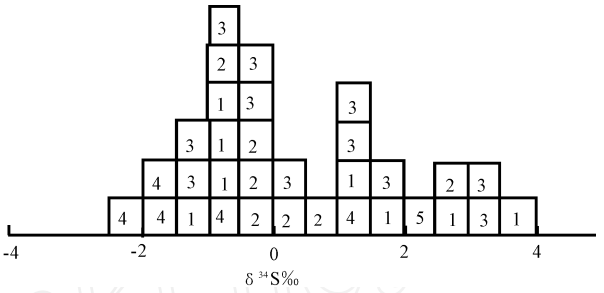


图 7 个旧东区矿石中硫同位素组成直方图(n = 32)

Fig. 7 Suphur isotope composition histogram of ore in Gejiu eastern area

1. 黄铁矿;2. 磁黄铁矿;3. 黄铜矿;4. 毒砂;5. 辉铜矿

通过送 19 件铅同位素样品到宜昌地质矿产研究所测试,并收集了前人的部分测试数据资料[2,4],共计 39 个样品数据。矿石铅同位素组成比较均匀,变化范围狭窄,呈密集状分布。$^{206}Pb/^{204}Pb$ = 18.330～18.557,平均 18.428;$^{207}Pb/^{204}Pb$ = 15.617～15.663,平均 15.644;$^{208}Pb/^{204}Pb$ = 38.708～38.837,平均38.769;μ = 9.50～9.59,平均9.55。反映矿石铅为单阶段正常铅,铅源较为单一[17,18]。模式年龄比较集中,可以分为两组(图 8),第一组为 180～240 Ma,与赋矿的玄武岩地层年龄基本相当,反映了印支期的火山沉积成矿作用;第二组为 80～140 Ma,反映了燕山期花岗岩的叠加改造成矿作用。

表 3 老厂矿田与玄武岩有关的矿体、玄武岩及典型块状硫化物矿床主要成矿元素质量分数

Table 3 Trace element compositions of ore deposits associated with basalt in Laochang ore area

序号	样号	位置及岩性	Sn	Cu	Pb	Zn	Cu/(Cu+Pb+Zn)	Zn/(Pb+Zn)	Ag	Mn	Mo	W	As	Sb	Hg	B	Bi	Co	Ni	Co/Ni	Cr
1	5L16	0m中段	0.11	0.142	0.620	0.177	0.151	0.222	2.3	0.115	0.004	0.019	1.52	146	0.425	98	35.6	7.4	39.9	0.19	54.0
2	5L18	氧化矿	0.02	0.292	0.035	0.028	0.823	0.444	2.9	0.052	0.001	0.000	1.30	26.4	0.121	7.6	19.6	4.4	6.5	0.68	7.3
3	5L22	-21m中段硫化矿	0.80	0.406	0.014	0.048	0.868	0.774	1.2	0.392	0.002	0.010	0.85	24.1	0.103	5.2	569	9.2	13.9	0.66	9.0
4	5L23	-21m中	1.80	0.84	0.056	0.106	0.838	0.654	1.4	0.466	0.001	0.074	1.86	49.6	0.217	29	666	15.4	25.8	0.60	54.0
5	5L26	段氧化矿	0.05	0.736	0.005	0.018	0.970	0.783	1.9	0.178	0.004	0.035	1.01	54.7	0.138	6.4	566	5.6	5.6	1.00	12.0
6	5L2	-75m中	0.44	0.333	0.004	0.017	0.941	0.810	0.2	0.207	0.003	0.122	14.36	44.5	0.105	8.4	141	11.1	7.4	1.50	9.5
7	5L3	段硫化矿	0.05	0.437	0.003	0.174	0.712	0.983	0.5	0.164	0.005	0.008	1.31	6.6	0.093	130	1730	11.4	2.9	3.93	3.8
8	5L8	-100m中	0.15	2.247	0.003	0.052	0.976	0.945	3.6	0.061	0.005	0.048	0.28	2.6	0.027	8	772	83.4	40.4	2.06	18.0
9	5L9	段硫化矿	0.04	0.297	0.001	0.006	0.977	0.857	0.2	0.032	0.005	0.016	1.07	3.2	0.061	6	231	3.8	6.7	0.57	5.6
10	5L12	-120m中	4.39	7.988	0.003	0.437	0.948	0.993	8.4	0.113	0.003	0.080	2.45	6.5	0.054	6.6	771	28.6	16.7	1.71	4.8
11	5L13	段硫化矿	12.32	8.031	0.003	0.205	0.975	0.986	12	0.175	0.003	0.126	0.10	8.0	0.050	720	31.7	7.6	59.1	0.13	13.0

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 3

序号	样号	位置及岩性	Sn	Cu	Pb	Zn	Zn/(Pb + Zn)	Ag	Mn	W	As	Sb	Hg	Bi	Co	Ni	Cr	Ba	Sr	V	Ti	Be	Fe
12	T1	塘子凹	12 780	42 100	17	1 300	0.987	45	874	19	15.7	4.67	0.22	101	7	25	10	12	2.7	21	500	1.1	24.35
13	T9	32# 硫化矿	92	34 900	141	308	0.686	0.8	2 943	0.26	77.9	6.76	0.11	62.8	9.4	12	9.4	13	2.8	26	327	45	22.75
14	T6	32# 硫化矿中凝灰岩	940	660	600	5 100	0.895	0.2	2 319	298	514	32	0.08	7.17	15	69	32	354	29	93	3 170	24	27.98
15	L13	3 - 1 - 1# 硫化矿	116	22 300	80 600	24 300	0.232	2.7	595	3.2	245	186	0.42	423	6.8	12	12	3.4	3.9	19	366	1.6	40.84
16	L16下	14 - 5# 硫化矿	853	874	18	34	0.654	0	404	36	16.9	3.81	0.1	12.5	5	8.6	17	175	12	23	1 090	16	30.43
17	MR3	塘子凹玄武岩	750	18	12	170	0.934	0.1	3 408	2.4	23.3	1.9	0.02	7.14	45	228	353	325	512	269	12 949	8.7	7.34
18	$T_2\beta_1$	麒麟山	2.1	9.1	11	68	0.861	0	1 239	1.7	5.17	0.6	0.01	0.05	76	261	341	304	313	239	16 067	0.73	9.05
19	HB2	玄武岩	3.2	17	6.9	91	0.930	0.1	774	0.47	11.7	0.21	0.01	1.1	35	292	158	185	45	218	16 186	0.68	9.13
20	AB5		7.9	57.3	15	34	0.694	0.1	408	0.89	4.71	0.38	0.05	1.21	34	90	191	1 280	198	194	15 100	1.8	11.07
21	AB10		1.3	44.6	9.1	45	0.832	0.1	2 017	0.13	36.5	0.81	0.02	0.44	23	91	35	18	25	38	3 090	0.041	3.37
22	日本上向黑矿矿石			38 400	22 600	70 200	0.756	147	232		2 433	237											19.02
23	四川呷村矿床块状矿石			23 400	69 000	135 000	0.662	237.2	715		1 773.4	1 638.7											7.14
24	云南大平掌矿床块状矿石			39 600	67 000	182 500	0.731	81.4	200		1 135.2	225.3											15.80

注:22、23 据侯增谦等(1996);24 据云南省地质五大队;1～11 的样品为湾子街 5# 矿体矿石;除 1～11 号样品中的 Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Mn、Mo、W、As 和 12～24 号样品中的 Fe 的单位为 10^{-2} 外,其余元素的单位均为 10^{-6}

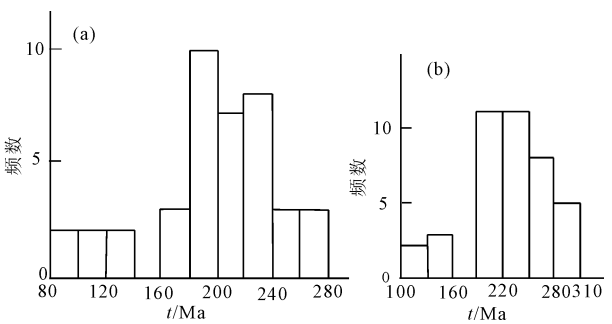


图 8　个旧锡矿床铅同位素年龄直方图(n = 35)

Fig. 8　Age histogram of lead isotope in Gejiu tin ore deposit

(a) 根据 Tatsumoto et al. (1973) 参数(a = 9.307, b = 10.294) 计算结果;(b) 根据 Murthy Pattersou (1962) 参数(a = 9.56, b = 10.42) 计算结果

采用均一法测定均一温度,冷冻法测定盐度,低—中等盐度包裹体的压力测定方法和 CO_2 包裹体测定压力的方法测定成矿压力,笔者在昆明理工大学岩矿分析室进行了各种矿石中的石英、方解石、萤石等矿物流体包裹体特征观测和均一温度测定,在显微镜下对包裹体的特征进行了观察。矿床流体包裹体类型较为单一,以液体、纯液体包裹体为主,均属原生包裹体,含少量子矿物多相包裹体,量多个小,大于 15 μm 的相当少,形态以不规则状、浑圆形、圆形为主。在样品 Z17、LC12 的包裹体中发现了少量子矿物和纯气相包裹体,表明矿物形成时发生了气液沸腾现象[17]。

流体包裹体的温度和盐度测定结果为:均一温度 190～288 ℃,平均 235 ℃;w(NaCl) (盐度) 为 5 %～10.6 %,平均 6.6 %,具中偏低温矿床特征。

总之,个旧矿区内的印支期玄武岩为个旧锡铜多金属矿床的形成提供了主要的成矿物质来源,甚至与火山-沉积型块状硫化物矿床的形成有直接联系。

参考文献(References):

[1] 邓玉书. 云南个旧锡矿和构造的关系[J]. 地质论评, 1951, **16**(2):57－66.
DENG Yu-shu. Relation between tin ore deposit and structure in Gejiu, Yunnan [J]. Geological Review, 1951, **16**(2):57－66.

[2] 汪自芬. 关于个旧锡矿成矿的几个问题[J]. 地质学报,

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1983,**57**(2):154-163.
WANG Zi-fen. Some questions on ore-forming of Gejiu tin ore deposit[J]. Acta Geological Sinica, 1983, **57**(2):154-163.

[3] 彭程电.试论个旧锡矿成矿条件及矿床类型、模式[J].云南地质,1985,**4**(1):154-163.
PENG Cheng-dian. Ore-forming condition, deposit type and pattern of Gejiu tin ore deposit[J]. Yunnan Geology, 1985, **4**(1):154-163.

[4] 庄永秋,王任重,杨树培,等.云南个旧锡多金属矿床[M].北京:地震出版社,1996:108-124.
ZHUANG Yong-qiu, WANG Ren-zhong, YANG Shu-pei, et al. Gejiu tin-polymetallic deposit[M]. Beijing: Seismological Press, 1996:108-124.

[5] Jiang Zhu-wei, Nicholas H S O, Terence D B, et al. Numerical modeling of fault-controlled fluid flow in the genesis of tin deposits of the Malage ore field, Gejiu mining district, China[J]. Economic Geology, 2001, **92**: 228-247.

[6] 金祖德.个旧土状赤铁矿型锡矿成因商榷[J].地质与勘探,1981,**17**(7):32-34.
JIN Zu-de. Discuss about origin of soiliform hematite type tin ore deposit in Gejiu[J]. Geology and Exploration, 1981, **17**(7):32-34.

[7] 金祖德.个旧层状赤铁矿型锡矿热液成因之否定[J].地质与勘探,1991,**27**(1):19-20.
JIN Zu-de. Negation of hydrothermal origin of bedded hematite type tin ore deposit in Gejiu[J]. Geology and Exploration, 1991, **27**(1):19-20.

[8] 彭张翔.个旧锡矿成矿模式商榷[J].云南地质,1992,**11**(4):362-368.
PENG Zhang-xiang. Discuss about model of ore-formaton of Gejiu tin deposits[J]. Yunnan Geology, 1992, **11**(4):362-368.

[9] 周建平,徐克勤,华仁民,等. 个旧等锡矿中沉积组构的发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展,1999,**9**(5):419-422.
ZHOU Jian-ping, XU Ke-qin, HUA Ren-min, et al. Discovery and discuss about origin of sedimentary structure and texture tin ore deposits for example Gejiu[J]. Progress of Natural Science, 1999, **9**(5):419-422.

[10] 张 欢,高振敏,马德云,等.个旧锡矿区鲕状黄铁矿和胶状结构黄铁矿中锡的分布及其成因意义[J].矿物学报,2004,**24**(1):87-91.
ZHANG Huan, GAO Zhen-min, MA De-yun, et al. Distribution and genetic significance of Sn in oolitice pyrite and colloididally structured pyrite from Gejiu tin deposits[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, **24**(1):87-91.

[11] 秦德先.个旧锡矿的矿床成因与找矿新发现[J].昆明理工大学学报(理工版),2001,**26**(6):38.
QIN De-xian. The cause of ore-formatin and discovery of Gejiu tin deposits[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2001, **26**(6):38.

[12] 秦德先,谈树成,范柱国,等.个旧一大厂地区地质构造演化及锡多金属成矿[J].矿物学报,2004,**24**(2):117-123.
QIN De-xian, TAN Shu-cheng, FAN Zhu-guo, et al. Geotectonic evolution and tin-polymetallogenesis in Gejiu - Dachang area[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, **24**(2):117-123.

[13] 黎应书,秦德先,党玉涛,等.锡矿床与基性岩超基性岩的关系探讨[J].中国工程科学,2005,**7**(增刊):267-274.
LI Ying-shu, QIN De-xian, DANG Yu-tao, et al. Research on relation between tin ore deposit and (ultra) ferromagnesian rock[J]. Engineering Science, 2005, **7**(Sup.):267-274.

[14] 黎应书,秦德先,党玉涛.云南个旧东区玄武岩岩石学特征[J].科技导报, 2006,**24**(2):70-72.
LI Ying-shu, QIN De-xian, DANG Yu-tao. Lithological features of basalt of Gejiu eastern area in Yunnan Province[J]. Science & Technology Review, 2006, **24**(2):70-72.

[15] 王学昆.卡房火山岩基本地质地球化学特征[J].昆明工学院学报,1993,**18**(5):1-9.
WANG Xue-kun. Geological and geochemical characteristics of Kafang volcanic rock[J]. Journal of Kunming Institute of Technology, 1993, **18**(5):1-9.

[16] 伍勤生,许俊珍,杨志.个旧含锡花岗岩 Sr、Pb 同位素特征及找矿标志的研究[J]. 地球化学,1985,**13**(4):293-302.
WU Qin-sheng, XU Jun-zhen, YANG Zhi. Research on Sr, Pb isotopic features of granite with tin in Gejiu and its ore-exploring signs[J]. Geochimica, 1985, **13**(4):293-302.

[17] Tatssumoto M, Knight R J, Allegre C J. Time differences in the formation of meteorites as determined by $^{207}Pb/^{208}Pb$[J]. Science, 1973, **180**:1 279-1 283.

[18] Murthy V R, Patterson C C. Primary isochron of zero age for meteorites and the Earth[J]. J Geophys Res, 1962, **67**(6): 1 161-1 167.

[19] 田纹全,王璞珺,李嵩龄,等.新疆东天山哈密五堡地

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区中奥陶世大柳沟组火山岩岩石学和地球化学特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2005,**35**(2):296－301.

TIAN Wen-quan, WANG Pu-jun, LI Song-ling, et al. Petrography and geochemistry of the middle Ordovician volcanic rocks of Daliugou Group in Hami Wupu area of eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2005,**35**(2): 296－301.

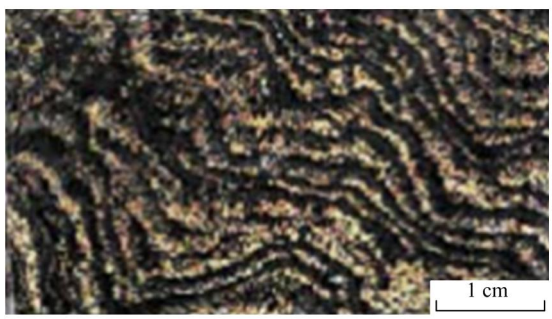
[20] 纪宏金,孙丰月,陈满,等. 胶东地区裸露含金构造的地球化学评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2005,**35**(3):308－312.

JI Hong-jin, SUN Feng-yue, CHEN Man, et al. Geochemical evaluation for uncovered gold-bearing structures in Jiaodong area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2005,**35**(3):308－312.

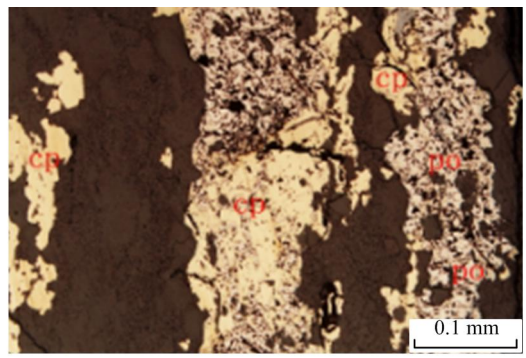
[21] 郑跃鹏. 锡矿床包裹体地球化学[J]. 矿产与地质,1991,**23**(4):300－305.

ZHENG Yue-peng. Inclusions geochemistry of tin ore deposits[J]. Mineral Resources and Geology, 1991, **23**(4):300－305.

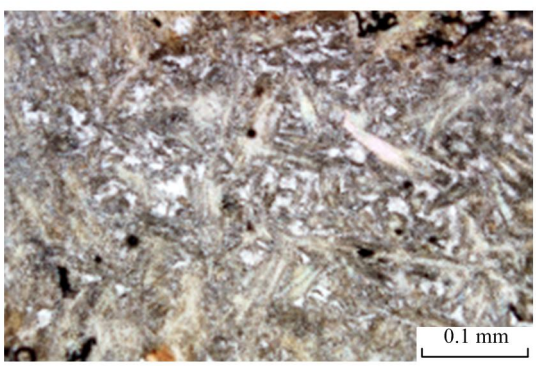
图版



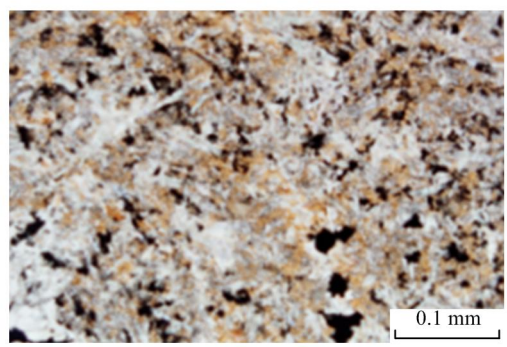
图版1　老厂湾子街矿段-108中段145#矿体纹层状硫化矿体中发育顺层揉皱构造



图版2　老厂5号矿体硫化矿石的条带状构造，磁黄铁矿（po）、黄铜矿（cp）组成条带分布于矿石中



图版3　竹叶山CK03-F96钻孔307 m处黑云母透闪石化玄武岩中的变余间片结构(单偏光)



图版4　卡房东瓜林1 800 m中段黑云母透闪石化玄武岩中的变余间片结构(单偏光)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net