

云南个旧卡房铜矿玄武岩 K-Ar 年龄及其地质意义

王丹丹¹, 李宝龙², 于小鸽³, 朱德全⁴, 范海滨⁵

(1. 中石化胜利油田 地质科学研究院, 山东 东营 257015;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

3. 山东科技大学 资源与土木工程系, 山东 泰安 271019;

4. 山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照 276826; 5. 山东省第四地质矿产勘查院, 山东 潍坊 261021)

摘要: 云南个旧是全球最大的锡铜多金属矿区, 包括马拉格、松树脚、高松、老厂和卡房五大矿田。卡房铜矿主要的矿床类型有两类: 玄武岩层与大理岩层间的似层状矿床和花岗岩与围岩的接触带型矿床。以矿区内玄武岩型铜矿床为主要研究对象, 对矿化玄武岩进行同位素 K-Ar 定年。热史信息揭示矿区内存在一期 66~68 Ma 的成矿作用, 表明玄武岩的冷却时间与其喷发期次和顶板高程具有极高的一致性。

关键词: 玄武岩型铜矿; K-Ar 法; 热演化史; 个旧锡多金属矿区

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2012)03-0032-08

The K-Ar Dating Age and Its Geological Implication of Mineralized Basalt in Kafang Copper Deposit, Gejiu, Yunnan

WAN Dandan¹, LI Baolong², YU Xiaoge³, ZHU Dequan⁴, FAN Haibin⁵

(1. Research Institute of Geological Science, Shengli Oil Field SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China;

2. Key Laboratory of Metallogenesis and Resources Assessment, Ministry of Land and Resources,

Research Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Department of Resources and Civil Engineering, Shandong University of Science and Technology, Taian, Shandong 271019, China;

4. The 8th Institute of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, Rizhao, Shandong 276826, China;5. The 4th Institute of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, Weifang, Shandong 261021, China)

Abstract: Gejiu, in Yunnan province is one of the largest tin-copper polymetallic mining areas in the world including such five big mine fields as Malage, Songshujiao, Gaosong, Laochang and Kafang. There are two kinds of ore deposits in Kafang copper mine, one is the stratoid deposit between basalt and Dali strata and the other is the contact-zone-type deposit of basalt and its surrounding strata. In this paper, we selected the Kafang and Laochang basalt-type copper deposits as the main study object to determine the ages of mineralized basalts by using the isotope K-Ar dating method. The information of the thermal history revealed that a mineralization period about 66~68 Ma probably exists in the study area and showed that the cooling time of basalt was of excellent consistency with its eruption period times and the roof elevation.

Key words: basalt-type copper deposit; K-Ar dating method; thermal evolutionary history; Gejiu tin polymetallic mining area

云南个旧是全球最大的锡铜多金属矿区, 开采历史可以追溯到汉代, 但大规模的地质勘查和开采始于解放之后。矿区内已探明锡资源储量超过 200 万 t, Sn、Cu、Pb、Zn、W、Bi、Mo、Ga、Cd、Nb、Ta、Be、Fe、Au、Ag 等有色、稀有及贵金属矿产达 20 余种, 资源总储量超过了 1000 万 t^[1]。关于个旧锡铜多金属矿床的成因争议比较多^[2], 主要存在以下几种观点: ①认为个旧锡铜多金属矿是与燕山期花岗岩有密切成因联系的岩浆期后热液矿床^[3-8]; ②典型的三叠纪同生沉积矿床^[9-10]; ③成因比较复杂的层控型锡多金属矿床^[11]; ④海底喷流沉积成矿^[12-17]; ⑤个旧锡矿的成矿作用分为印支期海底基性火山沉积成矿(成矿系列 I)、印支期海底喷流沉

收稿日期: 2011-11-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(40930419); 中国地质调查局地质调查项目(1212011120994)

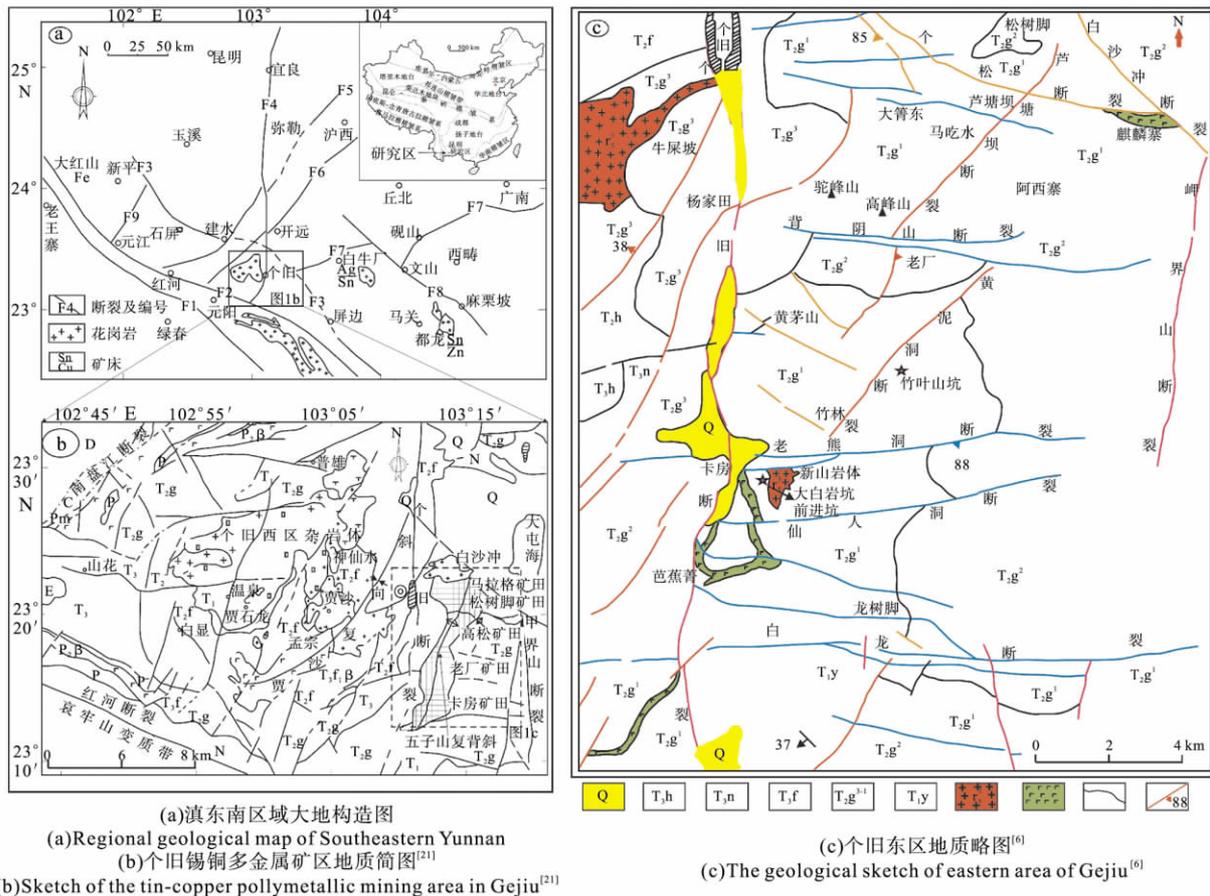
作者简介: 王丹丹(1982—), 女, 山东单县人, 助理工程师, 主要从事地质构造方面的研究。E-mail: ddwangcn@163.com

积成矿(成矿系列 II)和燕山期花岗岩叠加改造成矿(成矿系列 III)三个系列^[18-19]。

个旧锡铜多金属矿床成因存在不同认识的主要原因是,在个旧东区(特别是卡房地区)新山花岗岩体接触带的砂卡岩中见磁铁矿与石榴石组成的纹层状构造和透辉石岩,由此认为矿床成因为海底喷流和热水沉积^[20]。这些证据是否能证明喷流沉积,还存在争议^[2]。近年来的研究多侧重于对锡铜矿床成因的地球化学、成矿大地构造环境、与成矿有关的花岗岩年代学和矿床模型等方面的研究^[18-22],而对与锡铜矿密切有关的玄武岩的年龄和成矿期还不清楚。已有研究揭示卡房矿田的铜矿体的 S 元素来源于玄武岩^[23-24],故对玄武岩的热史研究可以揭示铜矿的成矿时代。本文选取玄武岩型铜矿床的矿化玄武岩为研究对象,对与成矿密切相关的矿化玄武岩进行 K-Ar 热年代学测试,并与玄武岩的喷发期次和顶板高程等进行对比研究,以此来揭示与铜矿密切相关的矿化玄武岩冷却史,为建立玄武岩型铜矿的成矿流体运移就位提供重要的年代学证据。

1 矿区地质概况

个旧锡铜多金属矿区地处太平洋构造域与特提斯构造域的交界部位,位于扬子板块与华夏地块过渡带的右江褶皱带西缘。右江褶皱带北以弥勒-师宗岩石圈断裂与扬子地块相接,西南以红河超岩石圈断裂与印支地块相连(图 1(a))。由于该区经历了不同时代的复杂地质演化过程,区内褶皱和断裂构造较发育,岩浆活动强烈,为成矿提供了优越的地质条件。



1—第四系;2—上三叠统火把冲组砂页岩;3—上三叠统乌格组砂页岩;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洞段、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 1 个旧矿区地质构造简图^[6,21]

Fig. 1 Sketch of the geological structure in Gejiu mining area

个旧锡铜多金属矿区被南北向个旧断裂(小江岩石圈断裂南延部分)分为东、西两个矿区(图 1b)。个旧锡铜多金属矿床主要产于东矿区,西矿区已无大规模的开采活动,整个矿区面积上百平方公里。矿区内五子山复式背斜和贾沙复式向斜,呈 NE 30°走向,横贯全区。NNE 向的五子山复式背斜是东矿区的控矿构造,近东西向的 5 条压扭性大断裂(自北而南依次为个松断裂、背阴山断裂、老熊洞断裂、仙人洞断裂)将东区分为马拉格、松树脚、高松、老厂和卡房 5 个矿田(图 1(b),图 1(c))。

2 矿区玄武岩的岩石学特征及其与成矿的关系

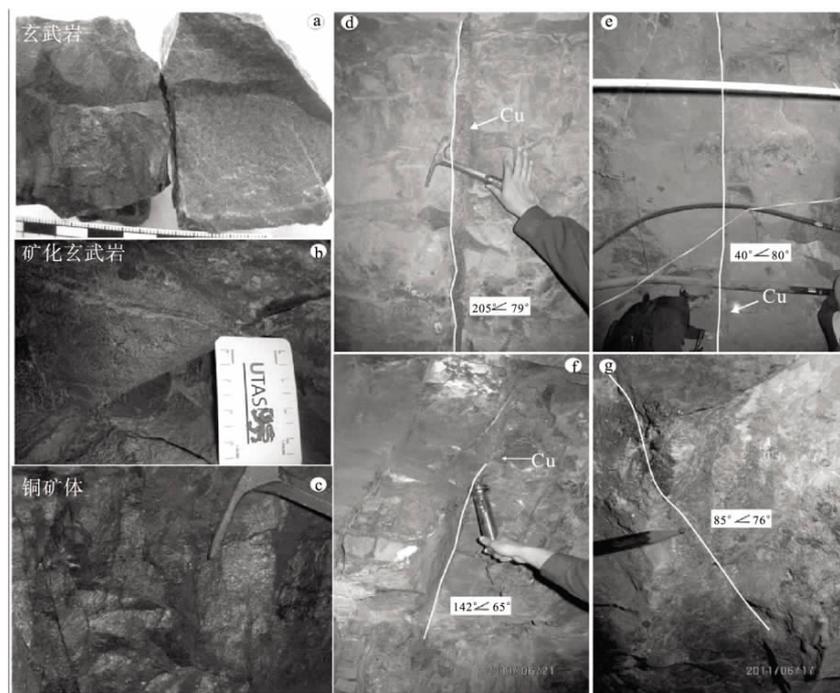
2.1 玄武岩岩石学的特征

个旧东区玄武岩主要为安尼期的三叠统个旧组和法郎组。安尼期玄武岩主要为基性熔岩,在燕山期花岗岩出露地段,被花岗岩体穿刺而遭受不同程度的接触变质,形成变(质)玄武岩。玄武岩稳定赋存于个旧组卡房段底部(T₂g₁₁),厚 20~140 m。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、间隙结构、交织结构及拉斑玄武结构^[21]。蚀变矿物主要为金云母、阳起石、绿泥石和绢云母等,岩石中气孔、杏仁构造均被后期蚀变矿物充填。

2.2 玄武岩与成矿的关系

三叠纪的基性火山岩喷溢作用主要有三期:中三叠世安尼期(个旧组下段)、拉丁尼克早期(法郎组下段)和拉丁尼克晚期—诺利克期(法郎组上段)。安尼期玄武岩在个旧东区喷溢作用从早到晚(自南而北)分为三个阶段,且玄武岩顶板高程自北西向南东方向逐渐降低^[23]。

个旧矿区玄武岩型铜矿的矿体(图 2(a),2(b),2(c))呈层状、似层状、透镜状赋存在个旧组下部的卡房段玄武岩中、玄武岩与碳酸盐岩(大理岩)层间或花岗岩与围岩的接触带附近,矿体规模较大,沿走向延伸一般 200~400 m^[24]。主要的矿床类型有两类:层状铜矿和接触带砂卡岩型铜矿。矿体均不同程度地接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结合部位呈凹槽状时,矿田变富变厚,且多层产出,形成与接触带矿体相连的多层次分支复合矿体。花岗岩浆侵入到玄武岩底板时,受玄武岩层阻挡作用,酸性岩浆向灰岩扩张交代,造成空间上花岗岩株呈超覆的蘑菇状岩体^[22]。



a—玄武岩;b—矿化玄武岩;c—铜矿体;d,e—前进坑中玄武岩矿化节理;f,g—竹叶山坑玄武岩矿化节理

图 2 卡房矿田玄武岩型铜矿体野外照片

Fig. 2 The field photos of basalt-type copper ore bodies in Kafang mine field

3 矿化玄武岩样品特征和 K-Ar 定年结果

样品 10LC-1, 岩性为较新鲜的矿化玄武岩(图 2(f), 2(g)), 采自老厂矿田竹叶山坑 13-2-3 矿体附近。该矿体产于个旧组中下部, 呈似层状、透镜状与围岩整合产出(图 3(a))。主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿和磁黄铁矿。矿石多为纹层条带状、结核状构造, 黄铁矿常呈鲕粒构造^[23]。

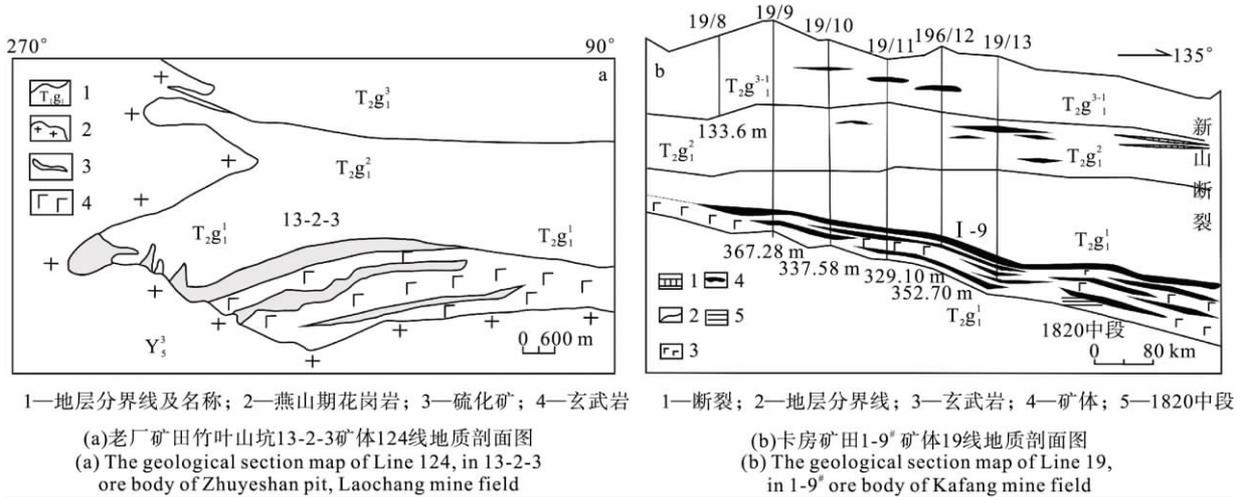


图 3 研究区典型矿体地质剖面图^[29]

Fig. 3 The geological section map of the typical ore body in the study area

样品 KF-2 采自卡房前进坑 1 870 m 中段 1-9[#] 矿体的外接触带, 岩性为杏仁状玄武岩, 变余结构, 杏仁状或气孔状构造, 充填石英和方解石。该矿体呈似层状、透镜状产于个旧组下部基性火山岩中, 呈多层状, 一般 2~3 层, 局部多达 5 层(图 2(d), 图 2(e), 图 3(b))。主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等。矿石具纹层条带状、浸染状、块状构造, 呈自形粒状、他形、粒状和胶状等^[23]。

玄武岩样品 KF-2 和 10LC-1 的 K-Ar 测年在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成。样品切去表面氧化层和手工破碎至 60~80 目, 并进一步在双目镜下挑纯; 用 5%~10% 的稀硝酸和 6% 氢氟酸分别浸泡 2 h 和 5 min; 然后用清水冲洗 5 次, 并浸泡过夜, 以除去可能残存的酸液; 再用去离子水冲洗 3~5 次, 并用超声波清洗 5 min; 在烘烤箱中以小于 100 °C 的温度烘干, 放置干燥皿中备用。K-Ar 测年分钾含量和氩同位素测量两部分组成。测钾利用锂内标钠缓冲火焰光度计法, 并用标样加以标定, 经测定 KF-2 和 10LC-1 的钾含量分别为 0.37 % 和 2.13 %; 氩同位素测量采用 RGA10 质谱计, 稀释法静态测量。玄武岩样品 KF-2 和 10LC-1 的 K-Ar 年龄结果分别为 68.79±1.32 Ma 和 66.95±1.50 Ma(表 1)。

表 1 个旧矿区玄武岩 K-Ar 测年结果表

Tab.1 The K-Ar dating results of the basalt samples in Gejiu mining area

Sample ID	Age(Ma)	±Ma	K/%	Weight/g	Exp Serial	⁴⁰ Ar*/(mol/g)	⁴⁰ Ar*/%	³⁸ Ar/(mol/g)
KF-2	68.79	1.32	0.37	0.026 2	3 757	4.50E-11	13.644	2.03E-11
10LC-1	66.95	1.50	2.13	0.015 8	3 758	2.52E-10	37.117	2.03E-11
	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar(±)	³⁶ Ar/ ³⁸ Ar	³⁶ Ar/ ³⁸ Ar(±)	⁴⁰ Ar*/ ⁴⁰ K	⁴⁰ Ar*/ ⁴⁰ K(±)		
KF-2	0.424 85	0.000 17	0.001 266	0.000 001	0.004 073 7	0.000 079 6		
10LC-1	0.527 49	0.000 33	0.001 145	0.000 005	0.003 962 9	0.000 090 5		

注: Ar* 放射性氩·钾含量测量; 采用锂内标钠缓冲火焰光度计法, 型号 6 400, K 测量所用标样 2 个: ①房山花岗闪长岩体黑云母, 样品号 ZBH-25, 标准值为 7.60% K, 实测值 7.65%; ②广东南海县走马营粗面岩, 样品号 ZGC, 标准值 4.58% K, 实测值 4.56% K。氩含量测量: 采用 RGA10 质谱计, 稀释法静态测量。标样: ①ZBH-25, 本实验室所采用的标准值为 132.9±1.3 Ma, 实测值为 129.8Ma; ②粗面岩 ZBC, 标准值 52.2±0.5Ma, 实测值 51.6 Ma。

4 讨论

以往针对矿区内的中生代岩浆岩进行了较为详细的岩性、岩相、地球化学和同位素年代学的研究。个旧矿区内除二叠纪和三叠纪两次基性火山活动外,亦在白垩纪发生了大规模的岩浆事件。个旧东区花岗岩和单矿物的年代学测定结果如下:马拉格斑状花岗岩和老厂等粒花岗岩分别为 90.4 ± 6.3 Ma 和 81.0 ± 4.9 Ma^[25];老厂—卡房等粒花岗岩和马拉格—松树脚斑状花岗岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄分别为 81.6 ± 0.3 Ma 和 82.3 ± 0.3 Ma^[25]。近年来的年龄测试结果为:运用锆石激光剥蚀等离子体分析技术对老厂矿区的老卡等粒花岗岩和新山花岗岩体进行测年分析,获得年龄结果依次分别为 85 ± 0.85 Ma 和 83.1 ± 0.42 Ma^[26-28];卡房砂卡岩型矿体中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 $82.95 \pm 1.16 \sim 83.54 \pm 1.31$ Ma^[8];老厂细脉带型锡矿白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 82.7 ± 0.7 Ma^[31];Cheng^[28] 根据个旧矿区岩浆岩体的锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素测试分析认为个旧地区在晚白垩纪为板内伸展构造环境。总体而言,个旧矿区中生代岩浆活动频繁,基性、酸性、碱性岩均发育,其成岩时代为 77~85 Ma,研究揭示燕山晚期包括个旧地区在内的整个华南西部地区均表现为岩石圈伸展的构造环境^[26-29,31,32-37]。

个旧矿区玄武岩型锡铜矿床的成矿物质来源于印支期玄武岩和燕山期花岗岩^[2,22,29,28-30,31,41],特别是安尼期玄武岩犹如一个巨大的矿源层,为成矿过程提供重要的成矿物质^[41]。卡房铜矿似层状矿体中硫化物的 S 来源于三叠纪玄武岩,而花岗质岩浆和玄武质岩浆共同为卡房铜矿接触带矿体提供成矿所需的大部分 S^[30]。由于锆石含量极少,很难运用玄武岩的年龄测定进行锆石 U-Pb 测年,而 K-Ar 和⁴⁰Ar/³⁹Ar 法是测定玄武岩的较好的定年方法。样品的 K 含量满足 K-Ar 定年的精度要求,与矿区内获得的年龄结果基本一致,也与项目组获得钾氩等时线年龄吻合(项目组成果待刊),故本次研究所获得两件玄武岩样品的 K-Ar 年龄是可信的。研究区矿化玄武岩的同位素 K-Ar 年龄可以较好地代表矿区玄武岩型锡铜矿的成矿时代,本文研究揭示玄武岩型锡铜矿存在一期约 68~66 Ma 的成矿期。

此外,同位素体系测年所利用的封闭温度扩散理论(K-Ar 同位素封闭温度为中低温 150~300 °C)与矿区内流体包裹体均一温度具有很好的可比性。矿区内流体包裹体研究表明锡铜矿是中偏低温矿床^[24](老厂矿田原生包裹体均一温度 190~288 °C^[22,38,43-44],卡房铜矿床中石英流体包裹体均一温度 104~416 °C,方解石流体包裹体均一温度 112~304 °C,包裹体和氢、氧同位素测试显示从主成矿期到后成矿期,流体温度显著降低(从 260~360 °C 到 160~280 °C)。此外笔者所在项目组研究亦揭示卡房花岗岩体内、边部、接触带铜矿体及砂卡岩、层状矿体中四类流体包裹体均一温度为 175.2~346.6 °C(项目组成果待刊)。

综上所述,本研究获得的玄武岩 K-Ar 年龄应为卡房矿田玄武岩型铜矿和老厂接触带砂卡岩型铜锡矿床的较晚一期成矿时代,该年龄结果与薛传东等^[43]成矿系列的成矿时间 115~60 Ma 基本一致,也与安尼期玄武岩喷发先后期和玄武岩顶板北西高南东低的缓慢冷却事实吻合^[38]。

5 结论

通过对矿区内与锡铜矿密切相关的矿化玄武岩进行同位素 K-Ar 测年,并结合流体包裹体分析结果以及已获得的研究成果,取得以下认识:

- 1) 卡房和老厂竹叶山玄武岩的 K-Ar 年龄分别为 68.79 ± 1.32 Ma 和 66.95 ± 1.50 Ma,是新山和老卡岩体侵位后玄武岩的冷却年龄,代表玄武岩型和接触带型锡铜矿床的较晚一期成矿年龄。
- 2) 玄武岩的冷却时间与玄武岩的喷发先后、距花岗岩体远近和玄武岩顶板高程变化均具有较好的一致性。

参考文献:

- [1] 庄永秋,王任重,杨树培,等. 云南个旧锡铜多金属矿床[M]. 北京:地震出版社,1996.
- [2] 毛景文,程彦博,郭春丽,等. 云南个旧锡矿田:矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报,2008,82(11):1455-1467.
- MAO Jingwen, CHENG Yanbo, GUO Chunli, et al. Gejiu tin polymetallic ore-field: deposit model and discussion for several points concerned[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11): 1455-1467.

- [3]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 Yushu. The relationship of tin ore field with structures in Gejiu deposit, Yunnan[J]. Geological Review, 1951, 16(2): 57-66.
- [4]冯贤仁. 个旧含锡花岗岩副矿物类型、成因与矿化关系[J]. 云南地质, 1982, 1(2): 129-133.
FENG Xianren. The accessory mineral of the granites in Gejiu ore district, and its genesis and relationship with mineralization[J]. Yunnan Geology, 1982, 1(2): 129-133.
- [5]汪志芬. 关于个旧锡矿成矿作用的几个问题[J]. 地质学报, 1983, 57(2): 154-163.
WANG Zhifen. Some problems on the mineralization of tin deposit in Gejiu, Yunnan[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(2): 154-163.
- [6]冶金工业部西南冶金地质勘探公司(308队). 个旧锡矿地质[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984.
- [7]伍勤生, 刘青莲. 个旧含锡花岗岩浆杂岩体的成因演化及成矿[J]. 桂林工学院学报, 1986, 6(3): 229-238.
WU Qinsheng, LIU Qinglian. Study on the genesis evolution and mineralization of tin-bearing granite complex in Gejiu area [J]. Journal of Guilin University of Technology, 1986, 6(3): 229-238.
- [8]伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含锡花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究[J]. 地球化学, 1984(4): 293-302.
WU Qinsheng, XU Junzhen, YANG Zhi. Study on Sr isotope character and prospecting criteria of tin-bearing granite of Gejiu area[J]. Geochemica, 1984(4): 293-302.
- [9]金祖德. 个旧土状赤铁矿型锡矿成因的商榷[J]. 地质与勘探, 1981(1): 32-34.
JIN Zude. The discussion on the genesis of earthy hematite-type Gejiu tin deposit[J]. Geology and Exploration 1981(1): 32-34.
- [10]金祖德. 个旧层间赤铁矿锡矿热液成因之否定[J]. 地质与勘探, 1991(1): 19-20.
JIN Zude. The denial of hydrothermal genesis of manto hematite type tin deposit in Gejiu[J]. Geology and Exploration, 1991(1): 19-20.
- [11]彭张翔. 个旧锡矿成矿模式商榷[J]. 云南地质, 1992, 11(4): 362-368.
PENG Zhangxiang. The discussion on the metallogenic model of Gejiu tin ore-field[J]. Yunnan Geology, 1992, 11(4): 362-368.
- [12]周怀阳. 论个旧-大厂地区火山喷气沉积-花岗岩热液叠加改造型锡石硫化物矿床的地质特征及其成矿地质条件[D]. 南京: 南京大学, 1988.
- [13]周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南锡多金属矿床成因商榷[J]. 云南地质, 1997, 16(4): 309-349.
ZHOU Jianping, XU Keqin, HUA Renmin, et al. A discussion on genesis of the tin polymetallic sulfide deposits of south-eastern Yunnan[J]. Yunnan Geology, 1997, 16(4): 309-349.
- [14]周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南喷流沉积块状硫化物特征与矿床成因[J]. 矿物学报, 1998, 18(2): 158-168.
ZHOU Jianping, XU Keqin, HUA Renmin, et al. Characteristics and genesis of exhalative sedimentary massive sulfides in southeastern Yunnan province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(2): 158-168.
- [15]周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 个旧等锡矿中沉积组构发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展, 1999, 9(5): 419-422.
ZHOU Jianping, XU Keqin, HUA Renmin, et al. The first discover of sedimentary fabrics in Gejiu tin deposit and its relationship with ore genesis[J]. Progress in Natural Science, 1999, 9(5): 419-422.
- [16]张欢, 高振敏, 马德云, 等. 云南个旧锡矿床成因研究综述[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3): 70-75.
ZHANG Huan, GAO Zhenming, MA Deyun, et al. The genesis of the Gejiu tin deposit: A review[J]. Geology-Geochemistry, 2003, 31(3): 70-75.
- [17]张欢, 童祥, 武俊德, 等. 个旧锡矿-红海型热水沉积登陆的实例[J]. 矿物学报, 2007, 27(增1): 335-341.
ZHANG Huan, TONG Xiang, WU Junde, et al. Gejiu tin-polymetallic ore deposit: An example of landing of red sea-type submarine hydrothermal deposition[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2007, 27(S1): 335-341.
- [18]秦德先, 黎应书, 范国柱, 等. 个旧锡矿地球化学及成矿作用演化[J]. 中国工程科学, 2006, 8(1): 30-39.
QIN Dexian, LI Yingshu, FAN Guozhu, et al. The geochemistry and mineralization evolvement of Gejiu tin ore deposits[J]. Engineering Science, 2006, 8(1): 30-39.
- [19]秦德先, 黎应书, 谈树成, 等. 云南个旧锡矿的成矿时代[J]. 地质科学, 2006, 41(1): 122-132.
QIN Dexian, LI Yingshu, TAN Shucheng, et al. Metallogenic ages of gejiu tin ore deposit in Yunnan province[J]. Chinese

- Journal of Geology, 2006, 41(1): 122-132.
- [20] 钱志宽, 罗泰义, 黄智龙, 等. 云南个旧新山层状透辉石岩地质地球化学特征与成因探讨[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 338-352.
- QIAN Zhikuan, LUO Taiyi, HUANG Zhilong et al. Geology, geochemistry and genesis of Xinshan stratiform diopside rocks in Gejiu[J]. Yunnan. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(3): 338-352.
- [21] 王力. 个旧锡铜多金属矿集区成矿系列、成矿演化及成矿预测研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
- [22] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 云南个旧锡矿的玄武岩成矿[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(3): 326-335.
- LI Yingshu, QIN Dexian, DANG Yutao, et al. Mineralizations in basalts of the Gejiu tin deposit in Yunnan province[J]. Journal of Jilin University: Earth science edition, 2006, 36(3): 326-335.
- [23] 秦德先, 黎应书. 个旧锡铜多金属矿床地质研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [24] 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧卡房铜矿地质地球化学与矿床成因探讨[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 830-844.
- YANG Zongxi, MAO Jingwen, CHEN Maohong, et al. Geology geochemistry and genesis of Kafang copper deposit in Gejiu, Yunnan province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3): 830-844.
- [25] 程彦博, 毛景文, 谢桂青, 等. 云南个旧老厂-卡房花岗岩体成因初探: 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学约束[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1478-1493.
- CHENG Yanbo, MAO Jingwen, XIE Guiqing, et al. Preliminary study of the petrogenesis of Laochang-Kafang granite in the Gejiu area, Yunnan province: Constraints from geochemistry and zircon U-Pb dating[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11): 1478-1493.
- [26] 程彦博, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧锡矿田碱性岩和煌斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1082-1093.
- CHENG Yanbo, MAO Jingwen, CHEN Maohong, et al. LA-ICP-MS zircon dating of the alkaline rocks and lamprophyres in Gejiu area and its implication[J]. Geology in China, 2008, 35(6): 1082-1093.
- [27] 程彦博, 毛景文, 谢桂青, 等. 与云南个旧超大型锡矿床有关花岗岩的锆石 U-Pb 定年及意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(3): 297-312.
- CHENG Yanbo, MAO Jingwen, XIE Guiqing, et al. Zircon U-Pb dating of the granites in Gejiu supergiant tin polymetallic ore-field and its significance[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(3): 297-312.
- [28] CHENG Y, MAO J. Age and geochemistry of granites in Gejiu area, Yunnan province, SW China: Constraints on their petrogenesis and tectonic setting[J]. Lithos, 2010, 120(3-4): 258-276.
- [29] 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧卡房砂卡岩型铜(锡)矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1937-1944.
- YANG Zongxi, MAO Jingwen, CHEN Maohong, et al. Re-Os dating of molybdenite from the Kafang skarn copper (tin) deposit in the Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8): 1937-1944.
- [30] 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(3): 336-344.
- YANG Zongxi, MAO Jingwen, CHEN Maohong, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of muscovite from Laochang veinlet-like Sn deposit in Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(3): 336-344.
- [31] GILDER S A, GILL J, COE R S. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China [J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(B7): 16137-16154.
- [32] 程彦博, 童祥, 武俊德, 等. 华南西部地区晚中生代与 W-Sn 矿有关花岗岩的年代学格架及地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 809-818.
- CHENG Yanbo, TONG Xiang, WU Junde, et al. Geochronology framework of the W-Sn mineralization granites in western south China and their geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3): 809-818.
- [33] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布特征和成矿环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 510-526.
- MAO Jingwen, XIE Guiqing, GUO Chunli, et al. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in south China and their metallogenic settings[J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(4): 510-526.

- [34]陈懋弘,毛景文,章伟,等.黔西南白层超基性岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成[J].矿床地质,2009,28(3):240-250.
CHEN Maohong, MAO Jingwen, ZHANG Wei, et al. Zircon U-Pb age and Hf isotopic composition of the Baiceng ultrabasic rock veins in Zhenfeng County, southwestern Guizhou province, China[J]. Mineral Deposit, 2009, 28(3): 240-250.
- [35]WANG J, SUN M, XING G F, et al. Geochemical and zircon U-Pb and Hf isotopic study of the Baiju huajian metaluminous A-type granite: Extension at 125-100 Ma and its significance for south China[J]. Lithos, 2009, 112: 289-305.
- [36]蔡明海,梁婷,吴德成,等.桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境[J].大地构造与成矿学,2004,28(3):306-313.
CAI Minghai, LIANG Ting, WU Decheng, et al. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan-Hechi metallogenetic belt, Northwest Guangxi[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3): 306-313.
- [37]黎应书.云南个旧玄武岩及其成矿作用研究[D].昆明:昆明理工大学,2005.
- [38]贾润幸.云南个旧锡矿集中区地质地球化学研究[D].西安:西北大学,2005.
- [39]莫国培.个旧超大型锡多金属矿区花岗岩成因类型[J].矿产与地质,2006,24(4-5):413-417.
MO Guopei. Genetic type of granites in Gejiu super large tin polymetallic deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 24(4-5): 413-417.
- [40]徐启东,夏庆霖,成秋明.云南个旧矿集区区域构造—岩浆演化与锡铜多金属成矿系统[J].地球科学,2009,34(2):307-313.
XU Qidong, XIA Qinglin, CHENG Qiuming. Tetonomagmatic evolution related to Metallogenic system in Gejiu ore-concentration area, southeast Yunnan of China[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(2): 307-313.
- [41]张辉敏.个旧东区玄武岩型锡铜多金属矿床成矿特征与成矿预测[D].北京:中国地质大学,2007.
- [42]薛传东.个旧超大型锡铜多金属矿床时空结构模型[D].昆明:昆明理工大学,2002.
- [43]谈树成,秦德先,赵筱青,等.个旧锡矿印支中晚期海底基性火山:沉积 Sn-Cu-Zn(Au)矿床成矿雏议[J].地质与勘探,2006,42(1):43-50.
TAN Shucheng, QIN Dexian, ZHAO Xiaoqing, et al. Submarine basic volcano-sedimentary Sn-Cu-Zn(Au) deposit metallogenic series of the middle-later Indo-Chinese epoch in Gejiu tin deposit[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(1): 43-50.