

# 云南羊拉铜矿床里农花岗闪长岩体锆石 U-Pb 年龄、 矿体辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义\*

杨喜安<sup>1</sup> 刘家军<sup>1\*\*</sup> 韩思宇<sup>1</sup> 张红雨<sup>1</sup> 罗诚<sup>2</sup> 汪欢<sup>1</sup> 陈思尧<sup>1</sup>

YANG XiAn<sup>1</sup>, LIU JiaJun<sup>1\*\*</sup>, HAN SiYu<sup>1</sup>, ZHANG HongYu<sup>1</sup>, LUO Cheng<sup>2</sup>, WANG Huan<sup>1</sup> and CHEN SiYao<sup>1</sup>

1. 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

2. 云南迪庆矿业开发有限责任公司, 德钦 674507

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

2. Yunnan Diqing Mining Industry Group, Deqin 674507, China

2011-03-30 收稿, 2011-07-06 改回.

Yang XA, Liu JJ, Han SY, Zhang HY, Luo C, Wang H and Chen SY. 2011. U-Pb dating of zircon from the Linong granodiorite, Re-Os dating of molybdenite from the ore body and their geological significances in Yangla copper deposit, Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9):2567–2576

**Abstract** The Yangla copper deposit, situated in the middle section of Jinshajiang joint belt between Zhongza-Zhongdian plate and Changdu-Simao plate, is a representative and giant copper deposit that has been discovered in Jinshajiang-Lancangjiang-Nujiang region in recent years. There are coupled relationship between Linong granodiorite and copper mineralization in the Yangla copper deposit. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating has revealed that the ages of two samples from the Linong granodiorites are  $234.1 \pm 1.2$  Ma (MSWD = 0.66) and  $235.6 \pm 1.2$  Ma (MSWD = 0.66), respectively. Molybdenite Re-Os model age for the KT2 ore body in Linong ore block is  $230.9 \pm 3.2$  Ma. The former represents the diagenetic age of the Linong granodiorite, the latter represents the metallogenic age of the Yangla copper deposit, the result shows that the metallogenic age is close to diagenetic age, but a little later. It is the significance for finding out genetic type of the Yangla copper deposit and prospecting.

**Key words** Granodiorite; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Re-Os dating; Yangla copper deposit; Yunnan Province

**摘要** 位于中咱-中甸板块和昌都-思茅板块之间金沙江构造带中部的羊拉铜矿床, 是三江地区的一个十分典型的大型铜矿床。羊拉铜矿床与里农花岗闪长岩体具有密切的成因联系, 通过对里农花岗闪长岩体进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学和里农矿段 KT2 矿体中辉钼矿 Re-Os 同位素年代学的研究, 获得 2 件花岗闪长岩体样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄分别为  $234.1 \pm 1.2$  Ma (MSWD 值为 0.66) 和  $235.6 \pm 1.2$  Ma (MSWD 值为 0.66); 里农矿段 KT2 矿体中辉钼矿的模式年龄为  $230.9 \pm 3.2$  Ma。前者代表了成岩年龄, 后者代表了成矿年龄, 说明羊拉铜矿床成矿年龄稍晚于成岩年龄。上述成果有助于进一步查明羊拉铜矿床的成因类型与并指导找矿。

**关键词** 花岗闪长岩; LA-ICP-MS 定年; Re-Os 年代学; 羊拉铜矿床; 云南

中图法分类号 P597.3

羊拉铜矿床位于云南省迪庆藏族自治州德钦县羊拉乡境内, 该矿床虽于 1965 年由云南地勘局十八地质队在茂顶-羊拉开展路线填图和矿产普查时就被发现, 但受自然地理条件的限制, 对其综合性研究主要始于 1990 年代。四川地勘

局区测三队、云南地勘局三大队、中国地质大学、宜昌地质矿产研究所、成都地质矿产研究所等多家单位先后对羊拉铜矿床开展了一些科研和评价工作, 一致认为羊拉铜矿具有大型矿床的规模 ( $123.33 \times 10^4$  t) (杨广全, 2009), 是金沙江构造

\* 本文受国家重点基础研究发展计划 (2009CB421003、2009CB421005) 和高等学校学科创新引智计划项目 (B07011) 联合资助。

第一作者简介: 杨喜安, 男, 1972 年生, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: yangxianyantai@163.com

\*\* 通讯作者: 刘家军, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学及成矿规律方面的研究, E-mail: liujiajun@cugb.edu.cn

带迄今所发现的最大铜矿(Pan *et al.*, 2001),并在区域上存在巨大找矿潜力。大多数学者认为羊拉铜矿床与里农花岗闪长岩体具有密切的成因联系,为矽卡岩型矿床(路远发等, 1999;魏君奇等,2000)。前人的研究表明,里农花岗闪长岩体为印支期金沙江洋盆向西俯冲时下地壳部分熔融形成的同碰撞花岗闪长岩(魏君奇等,1997),但是羊拉铜矿床的S、Pb、C、O、Si等同位素地球化学特征表明成矿物质来源于上地幔(潘家永等,2000)。作者在大量野外观察和室内研究的基础上,重点对矿区内里农花岗闪长岩中锆石进行了LA-ICP-MS U-Pb年龄和矿体中辉钨矿进行了Re-Os年龄进行了测定,获得了里农岩体和羊拉铜矿床成岩、成矿的年代学数

据,为进一步阐明羊拉铜矿床的成因类型提供了重要依据。

## 1 矿区地质概况

羊拉铜矿位于中咱-中甸板块和昌都-思茅板块之间的金沙江构造带的中部,因其受到强烈的挤压,岩石十分破碎,各种构造也相当发育。羊拉铜矿广泛分布从新元古代到石炭系的岩浆岩、碳酸盐岩、变质石英砂岩、石英岩、大理岩、板岩、硅质岩、火山岩等,这些地层呈断片产出,没有连续的层位(冯庆来等,1999),在一定范围内很难看到有相互叠置关

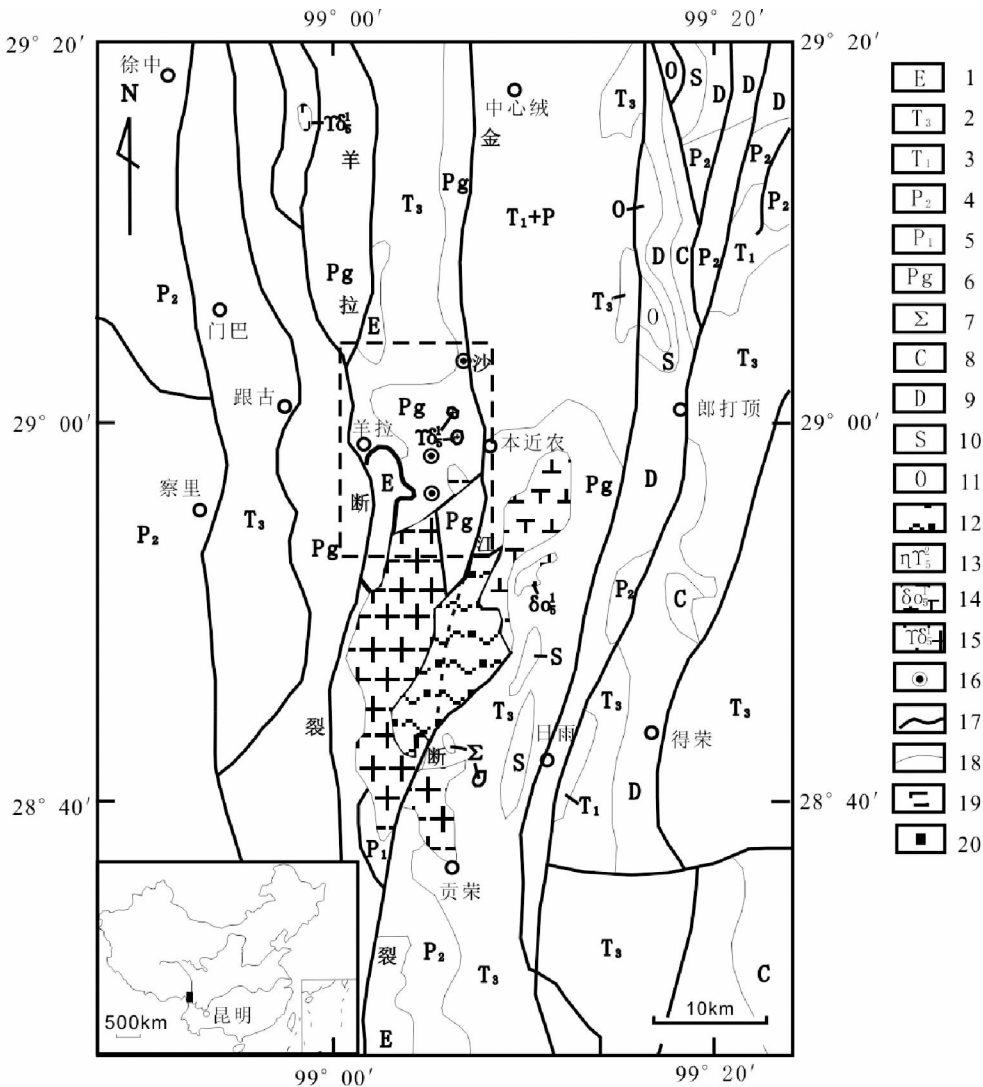


图1 羊拉铜矿区域地质图(据曲晓明等,2004 修改)

1-古近系;2-上三叠统;3-下三叠统;4-上二叠统;5-下二叠统;6-嘎金雪山群;7-超基性岩;8-石炭系;9-泥盆系;10-志留系;11-奥陶系;12-元古界;13-二长花岗岩;14-石英闪长岩;15-花岗闪长岩;16-铜矿床;17-断层;18-地质界线;19-羊拉铜矿区;20-研究区

Fig. 1 Regional geological map of the Yangla copper deposit(after Qu *et al.*, 2004)

1-Paleogene; 2-Upper Triassic; 3-Lower Triassic; 4-Upper Permian; 5-Lower Permian; 6-Gajinxueshan Group; 7-Ultrabasic rock; 8-Carboniferous; 9-Devonian; 10-Silurian; 11-Ordovician; 12-Proterozoic; 13-Monzonite granite; 14-quartz diorite; 15-granodiorite; 16-copper deposit; 17-fault; 18-geological boundary; 19-Yangla mineral district; 20-research region

系的沉积层序,不同岩性、不同时代的岩块组成混杂堆积(曲晓明等,2004)。以往的学者对羊拉矿区的地质有不同的划分(何龙青等,1998;曲晓明等,2004;朱俊等,2009):传统上将区内出露的地质称为嘎金雪山群,总体上为一套含中基性火山岩的火山-沉积建造,地质时代从新元古代到石炭系,主要岩性为石英片岩、黑云斜长片麻岩、变质石英砂岩、石英岩、大理岩、板岩、硅质岩、火山碎屑岩、变质火山岩、安山岩等。赋矿地层主要为泥盆系、石炭系,依据不同矿段的岩石组合,划分为3个组,分别为泥盆系江边组、泥盆系里农组、早石炭世贝吾组(图1)。泥盆系江边组岩性为大理岩夹绢云石英片岩、角闪安山岩、变质石英砂岩、砂质板岩;泥盆系里农组岩性为变质石英砂岩、砂质板岩、大理岩、石英岩、角闪安山岩;早石炭世贝吾组岩性为致密块状玄武岩、杏仁状玄武岩、凝灰岩夹绢云板岩、大理岩。

羊拉铜矿床位于近南北向的金沙江断裂和羊拉断裂之间。金沙江和羊拉断裂在加里东期开始活动,印支期为俯冲挤压型,喜马拉雅期转变为左旋走滑。喜马拉雅期,在金沙江断裂与羊拉断裂之间,派生走向北东,倾向北西,长数千千米,宽数十米的次级断裂带。断裂带内岩石破碎、组分复杂且相互混杂,为区内成矿热液的运移通道。断裂带两侧发育次级的南北向、北西向、北东向断裂,次级断裂互相交错,以逆冲-平移断层为主,具有逆冲、平移、走滑、拉分、叠瓦状等特点。发育泥化、碳酸盐化、青盘岩化、硅化、黄铁矿化、黄铜矿(孔雀石)化(站明国等,1998;甘金木等,1998)。

羊拉矿区花岗岩类沿金沙江构造带西侧南北向分布,主要出露于加仁花岗岩带的北端,大小不一多呈岩株状。羊拉矿区的侵入岩主要为里农岩体。里农岩体位于矿区中部(图2),被F4断层错断,侵入里农背斜核部,南北长约2km,东西宽约1.5km,出露面积2.64km<sup>2</sup>,呈椭圆形岩株产出。大部分被第四系覆盖,在地表零星出露。围岩为泥盆系里农组、江边组,在岩体边缘可见围岩捕虏体。岩体大致划分出边缘相、中心相。中心相约占3/5,边缘相占2/5,2相相间表现为渐变的接触关系,从中心到边缘呈现出中粗粒-中细粒、中酸性-酸性结构、成分演化趋势。在岩体内部发育北东向的花岗细晶岩脉及闪长玢岩脉。花岗岩带侵入嘎金雪山群,岩体与围岩呈港湾状接触,围岩具角闪岩化、矽卡岩化等蚀变。岩体中沿节理密集地段发育细脉状、浸染状铜矿化。

里农岩体的主要岩石类型有花岗闪长岩、(黑云母)二长花岗岩、石英闪长岩、石英(黑云母)二长花岗岩及少量闪长岩、黑云角闪石英二长岩等。

花岗闪长岩:灰白色,半自形中粗粒结构,块状构造和条带状构造。主要矿物成分为斜长石(40%)、钾长石(15%)、石英(25%)、角闪石(15%)、黑云母(5%)等,次要矿物为锆石、磷灰石等(图3)。斜长石以中长石为主,连续正环带,绢云母化普遍,角闪石、黑云母局部绿泥石化、葡萄石化。里农岩体、路农岩体的中心相为花岗闪长岩。

二长花岗岩:灰白色、浅灰黄色,半自形中细粒结构,局

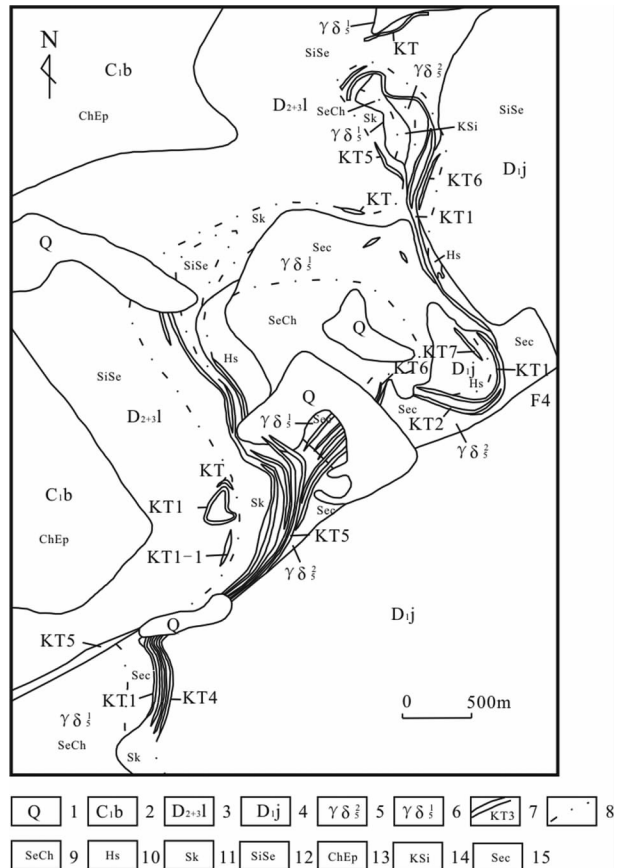


图2 羊拉铜矿床地质简图(据杨广全,2009,略有修改)

1-第四系残坡积层;2-贝吾组;玄武岩夹绢云板岩、大理岩;3-里农组:绢云板岩、变质石英砂岩、大理岩;4-江边组:大理岩、绢云板岩、变质石英砂岩;5-斜长花岗岩;6-花岗闪长岩;7-矿体及编号;8-蚀变带界限;9-绢云母-绿泥石化带;10-角闪岩化带;11-矽卡岩化带;12-石英-绢云母化带;13-青盘岩化带;14-钾化(硅化带);15-绢云母-碳酸盐化带

Fig. 2 Geological sketch map of the Yangla copper deposit (after Yang, 2009)

1-Quaternary residual-slope materials; 2-Beiwu Fm.: massive basalt interlayered sericite slate, marble; 3-Linong Fm.: sericite slate, metasandstone, marble; 4-Jiangbian Fm.: marble, sericite slate, metasandstone; 5-plagiogranite; 6-granodiorite; 7-ore body and number; 8-boundary of the alteration zone; 9-sericite-chlorite alteration zone; 10-hornfelsing alteration zone; 11-skarnization alteration zone; 12-quartz-sericite alteration zone; 13-chlorite-epidote alteration zone; 14-K-spar-quartz alteration zone; 15-sericite-calcite alteration zone

部为斑状结构,块状构造。矿物成分为钾长石(25%)、斜长石(30%、An=23~32)、石英(30%)、黑云母(10%)、角闪石(5%)等组成。钾长石为条纹状长石,普遍泥化、碳酸盐化,黑云母部分绿泥石化。里农岩体、路农岩体的边缘相为二长花岗岩。

石英闪长岩:浅灰色,中粗粒花岗岩结构、似斑状结构,块

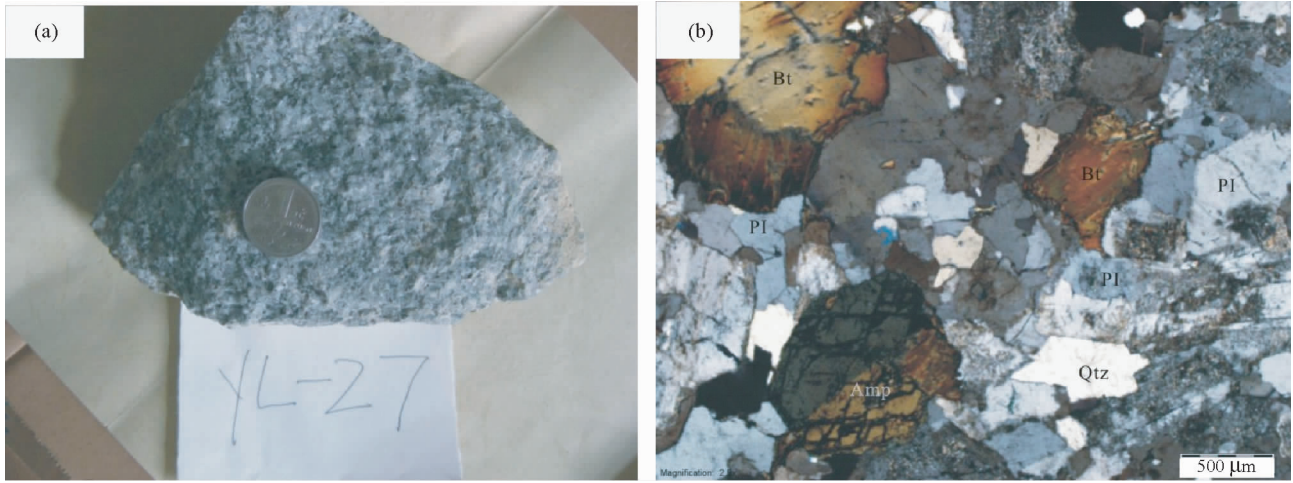


图3 里农花岗闪长岩岩相学特征

(a)-花岗闪长岩,具中粒结构;(b)-角闪石呈短柱状,斜长石呈自形板条状,石英呈他形粒状,黑云母呈片状产于花岗闪长岩中,正交偏光. 缩写代号:Amp-角闪石;Pl-斜长石;Qtz-石英;Bt-黑云母

Fig.3 Petrographic characteristics of the Linong granodiorite

(a)-granodiorite, medium grained texture; (b)-short column-like amphibole, idiomorphic strip-like plagioclase, sheet-like biotite and xenomorphic granular quartz, cross polarized light. Abbreviation; Amp-amphibole; Pl-plagioclase; Qtz-quartz; Bt-biotite

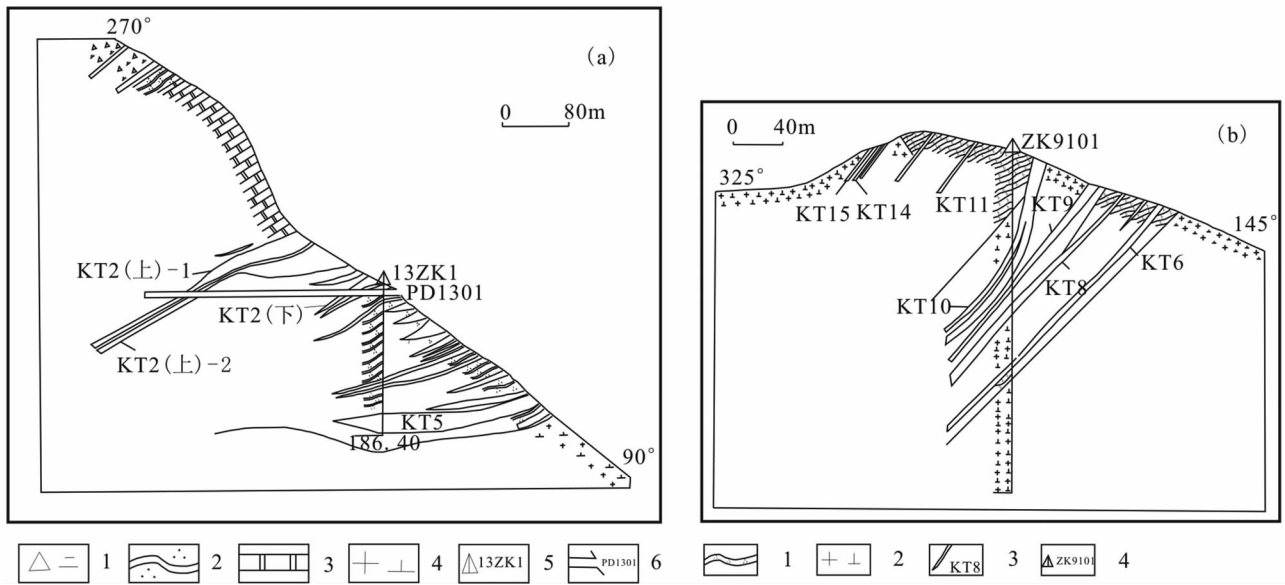


图4 里农矿段13号勘探线(a)和91号勘探线(b)剖面图

(a): 1-爆破角砾岩;2-变质石英砂岩;3-大理岩;4-花岗闪长岩;5-钻孔及编号;6 坑道及编号. (b): 1-石英岩;2-花岗闪长岩;3-矿体及编号; 4-钻孔及编号

Fig.4 No. 13 prospecting line profile map (a) and No. 91 prospecting line profile map (b) in the Linong ore block

(a): 1-explosive breccia; 2-metasediment; 3-marble; 4-granodiorite; 5-drilling and numbers; 6-tunnel and numbers. (b): 1-quartzite; 2-granodiorite; 3-ore body and numbers; 4-drilling and numbers

状构造。主要矿物成分为普通角闪石(5%)、黑云母(10%~5%)、斜长石(36%~30%)、石英(35%~30%),次要矿物成分为锆石、榍石、磷灰石和磁铁矿等。

羊拉铜矿床由里农、江边、路农、加仁及贝吾等5个矿段组成,但以里农矿段矿体规模最大,是矿区目前正在开采的

唯一矿段。

里农矿段KT2~KT5矿体呈脉状产出于一系列低角度的逆冲断层内,这些逆冲断层呈低角度、叠瓦状、舒缓波状分布,其倾角比围岩略陡,矿体总体走向南北,倾向西,浅部倾角20°~40°,深部约50°左右(图4a);里农矿段KT6~KT15

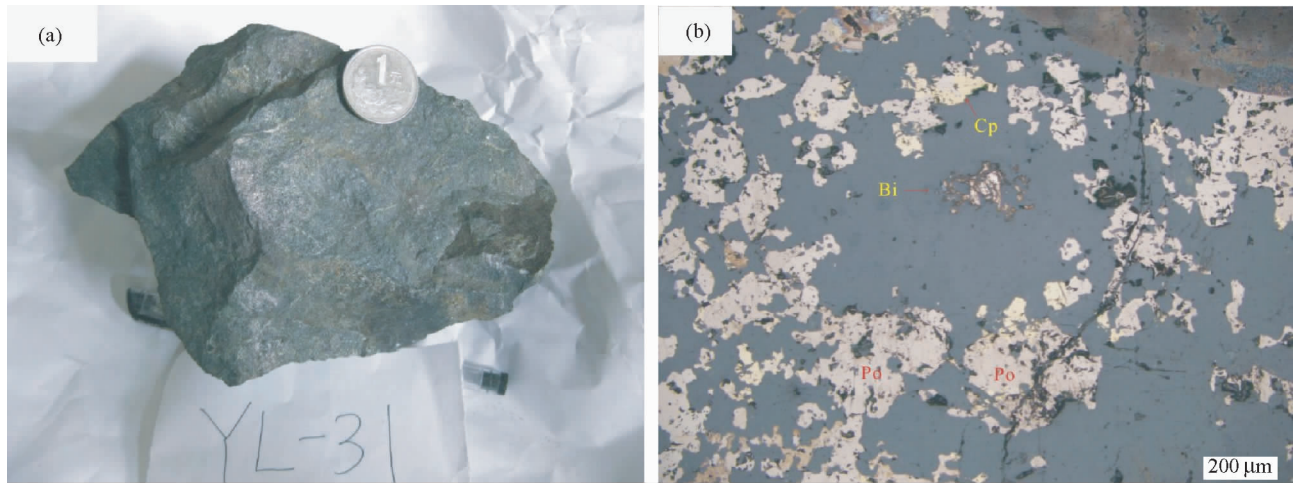


图5 羊拉铜矿床铜矿石特征

(a)-铜矿石,块状构造;(b)-磁黄铁矿与黄铜矿、自然铋共生,单偏光. Po-磁黄铁矿;Cp-黄铜矿;Bi-自然铋

Fig.5 The characteristics of the copper ore in the Yangla copper deposit

(a)-Copper ore, massive structure; (b)-coexistence of pyrrhotite with chalcopyrite and native bismuth, plane polarized light. Po-pyrrhotite; Cp-chalcopyrite; Bi-native bismuth

矿体赋存在陡倾的断层内,矿体倾向北西,倾角较陡为  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$  (图 4b)。铜矿石平均品位为 1.03%。矿体顶板为变质石英砂岩、大理岩、绢云板岩、花岗闪长岩等,底板为变质石英砂岩、大理岩、绢云板岩、花岗闪长岩等。蚀变带矿化以黄铁矿化、黄铜矿化、铅锌矿化、磁铁矿化、褐铁矿化、孔雀石化为主。铜矿石伴生 Pb, Zn, Ag, Au, Bi, Sn, As, Sb 等有益组份。矿石矿物有黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、闪锌矿等;氧化矿物有孔雀石、蓝铜矿、黑铜矿、沥青铜矿、褐铁矿等;脉石矿物有透辉石、阳起石、石榴石、石英、方解石、云母、长石等(图 5)。矿石主要有他形粒状、粒状、云雾状、充填-海绵陨铁、条纹碎裂、碎裂及残斑状等结构。矿石有致密块状、浸染状及细脉状等构造。地表以氧化矿石为主;深部以混合矿石及硫化物矿石为主。矿石类型,按含矿岩石划分为矽卡岩型铜矿石、角岩型铜矿石、构造角砾岩型铜矿石、花岗闪长岩、二长花岗岩型铜矿石等。

## 2 样品采集和分析方法

2 件花岗闪长岩样品采自路农矿段露天采场南部和里农矿段 3150 中段南部探矿道内。样品首先经过破碎,经浮选和电磁等方法挑选出单颗粒锆石,然后在双目镜下手工挑出晶形完好、透明度和色泽度好的锆石,粘于环氧树脂表面。精抛光后进行透射光和反射光照相,据此选择晶体特征良好的锆石阴极发光(CL)分析,最后根据阴极发光照射结果选择典型的岩浆锆石进行 LA-ICP-MS 测年分析。锆石的 CL 图像在北京大学电子探针分析室完成,锆石的 U-Pb 年龄测定在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室 LA-ICP-MS 室完成。分析仪器为美国 Agilent 科技有限公司

7500a 型 ICP-MS 与美国 New Wave 贸易有限公司 UP193SS 型激光剥蚀系统。

锆石 U-Pb 年龄分析采用的光斑直径为  $36\mu\text{m}$ ,并用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质,外标校正方法为每隔 4~5 个样品分析点测一次标准,保证标准和样品的仪器条件完全一致。样品的同位素数据处理采用 Glitter(4.4.1 版)软件进行,普通铅校正采用 Andersen 的方法(Andersen, 2002),年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot(3.23 版)进行(Ludwing, 2003),测试中的误差标准为  $1\sigma$ ,实验详细的流程参见 Black *et al.* (2004)。

辉钼矿样品采自里农矿段 KT2 矿体石英硫化物脉中。将样品在陶瓷盘磨机碾碎进行重液分离后,在双目镜下手工去除杂质获得辉钼矿单矿物。辉钼矿 $^{187}\text{Re}$ 和 $^{187}\text{Os}$ 含量由国家地质实验测试中心(北京)Re-Os 实验室用 TJA PQ ExCell ICPMS 测定。Re、Os 化学分离步骤和质谱测定的 Carius 管流程见 Smoliar *et al.* (1996)。

## 3 分析结果

### 3.1 里农花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

CL 分析显示样品 YL20 和 YL27 锆石为浅黄色,颗粒晶形良好,外形特征主要呈长柱状或短柱状,无色、透明,锆石具有较典型的岩浆振荡环带结构(生长环带),表明这些锆石为典型的岩浆锆石(图 6、图 7;吴元保和郑永飞,2004)。

样品 YL20 的 30 个测点中(表 1),25 个锆石分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围为 231Ma 到 238Ma 之间,位于  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和曲线上(图 8a),其他锆石分析点偏离了正常  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分布。利用 Isoplot 软件得到这个样品 25



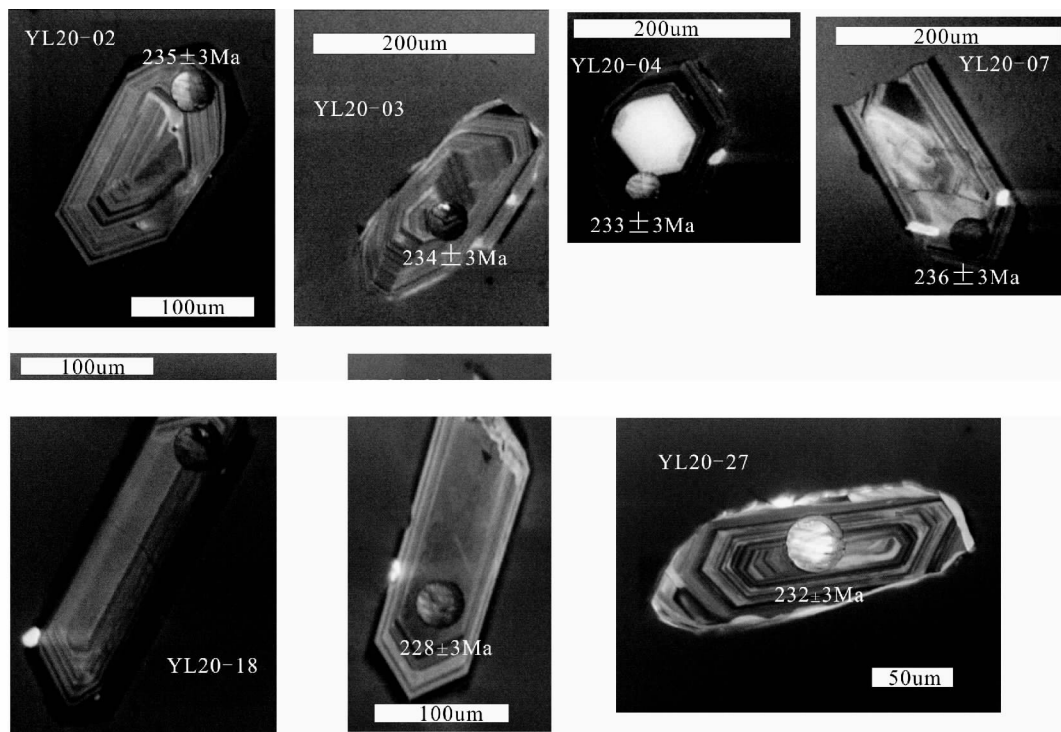


图6 花岗闪长岩(样品 YL20)锆石的阴极发光图像和年龄值

Fig.6 CL images and ages of zircons from granodiorite (sample YL20)

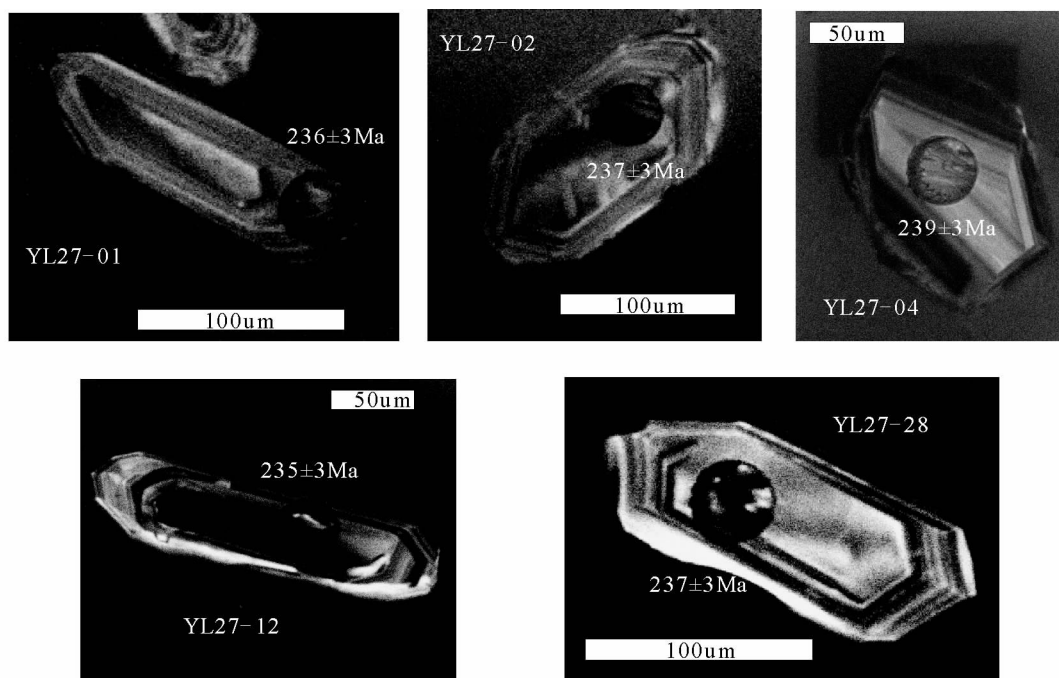


图7 花岗闪长岩(样品 YL27)锆石的阴极发光图像和年龄值

Fig.7 CL images of zircons and ages from granodiorite (sample YL27)

个锆石分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $234.1 \pm 1.2\text{Ma}$  (95% confidence, MSWD = 0.66)。该年龄代表了里农花岗闪长岩的结晶时代。

样品 YL27 的 30 个测点中(表 2), 24 个锆石分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围为 232Ma 到 239Ma 之间, 位于  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和曲线上(图 8b), 其他锆石分析点偏离了

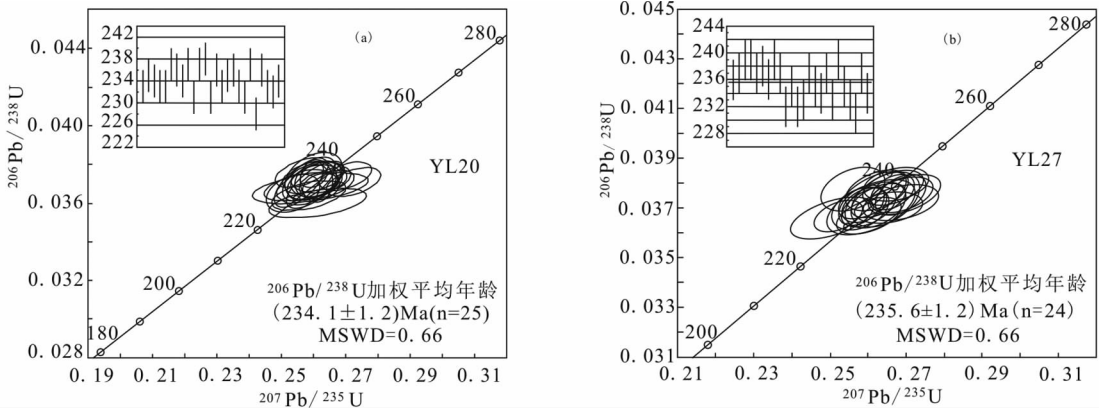


图 8 里农花岗岩闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图

Fig.8 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of the Linong granodiorite

表 1 里农花岗岩闪长岩 (YL20) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for the Linong granodiorite (YL20)

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	测值	$1\sigma$	测值	$1\sigma$	测值	$1\sigma$	年龄 (Ma)	$1\sigma$	年龄 (Ma)	$1\sigma$	年龄 (Ma)	$1\sigma$
YL20-01	0.05108	0.001	0.25981	0.00534	0.03688	0.00048	244	25	235	4	233	3
YL20-02	0.05324	0.00103	0.27234	0.00557	0.03709	0.00049	339	24	245	4	235	3
YL20-03	0.05054	0.00093	0.25782	0.00503	0.03699	0.00048	220	23	233	4	234	3
YL20-04	0.05079	0.00103	0.25818	0.00546	0.03686	0.00049	231	26	233	4	233	3
YL20-05	0.05032	0.00157	0.25567	0.00724	0.03685	0.00048	210	74	231	6	233	3
YL20-06	0.05036	0.00097	0.25993	0.00525	0.03743	0.00049	212	24	235	4	237	3
YL20-07	0.05078	0.00099	0.26158	0.00535	0.03735	0.00049	231	24	236	4	236	3
YL20-08	0.05187	0.001	0.26449	0.00537	0.03697	0.00048	280	24	238	4	234	3
YL20-09	0.05061	0.0009	0.26092	0.00494	0.03738	0.00049	223	22	235	4	237	3
YL20-10	0.05102	0.00094	0.25723	0.00504	0.03656	0.00048	242	23	232	4	231	3
YL20-11	0.05002	0.00096	0.25823	0.00523	0.03743	0.00049	196	24	233	4	237	3
YL20-12	0.0557	0.00109	0.28133	0.00581	0.03662	0.00048	440	24	252	5	232	3
YL20-13	0.04948	0.00101	0.25639	0.00545	0.03757	0.0005	171	26	232	4	238	3
YL20-14	0.05065	0.00085	0.25485	0.00463	0.03649	0.00047	225	20	231	4	231	3
YL20-15	0.05064	0.0011	0.26011	0.00587	0.03724	0.0005	224	28	235	5	236	3
YL20-16	0.05108	0.00245	0.25903	0.01187	0.03678	0.00052	245	113	234	10	233	3
YL20-17	0.05145	0.00097	0.26345	0.00526	0.03713	0.00049	261	23	237	4	235	3
YL20-18	0.05073	0.0009	0.2603	0.00493	0.03721	0.00049	229	22	235	4	236	3
YL20-19	0.05075	0.00096	0.25784	0.00515	0.03684	0.00048	229	24	233	4	233	3
YL20-20	0.0515	0.0015	0.25859	0.0076	0.03641	0.00051	263	42	234	6	231	3
YL20-21	0.05234	0.00098	0.26981	0.00535	0.03738	0.00049	300	23	243	4	237	3
YL20-22	0.05261	0.00214	0.26123	0.00999	0.03601	0.0005	312	95	236	8	228	3
YL20-23	0.05035	0.00093	0.2586	0.00508	0.03724	0.00049	211	23	234	4	236	3
YL20-24	0.05049	0.001	0.25661	0.00534	0.03686	0.00049	218	25	232	4	233	3
YL20-25	0.07064	0.0024	0.3621	0.01128	0.03718	0.00051	947	71	314	8	235	3
YL20-26	0.05317	0.00106	0.25426	0.00535	0.03468	0.00046	336	25	230	4	220	3
YL20-27	0.05105	0.00095	0.25804	0.00509	0.03666	0.00048	243	23	233	4	232	3
YL20-28	0.05119	0.0011	0.26135	0.00588	0.03702	0.00049	249	28	236	5	234	3
YL20-29	0.05488	0.00122	0.2789	0.00644	0.03685	0.00049	407	29	250	5	233	3
YL20-30	0.05435	0.00116	0.27901	0.00622	0.03723	0.00049	386	27	250	5	236	3

表2 里农花岗闪长岩(YL27) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for the Linong granodiorite(YL27)

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	年龄 (Ma)	1 $\sigma$	年龄 (Ma)	1 $\sigma$	年龄 (Ma)	1 $\sigma$
YL27-01	0.05079	0.00105	0.261	0.00572	0.03726	0.0005	231	27	235	5	236	3
YL27-02	0.05098	0.00105	0.26373	0.00574	0.03751	0.00051	240	26	238	5	237	3
YL27-03	0.049	0.00101	0.25571	0.00557	0.03784	0.00051	148	27	231	5	239	3
YL27-04	0.05097	0.0012	0.26594	0.00652	0.03783	0.00052	239	32	239	5	239	3
YL27-05	0.05113	0.00094	0.26361	0.0052	0.03738	0.0005	247	23	238	4	237	3
YL27-06	0.05219	0.00105	0.27038	0.00576	0.03756	0.00051	294	25	243	5	238	3
YL27-07	0.05116	0.00119	0.26304	0.00636	0.03728	0.00051	248	31	237	5	236	3
YL27-08	0.0503	0.00095	0.26184	0.00527	0.03775	0.00051	209	24	236	4	239	3
YL27-09	0.0499	0.00206	0.26762	0.01101	0.03889	0.0006	190	67	241	9	246	4
YL27-10	0.05114	0.00112	0.26456	0.00607	0.03751	0.00051	247	29	238	5	237	3
YL27-11	0.05136	0.00104	0.25947	0.00556	0.03663	0.00049	257	26	234	4	232	3
YL27-12	0.05212	0.00146	0.26679	0.00765	0.03712	0.00052	291	40	240	6	235	3
YL27-13	0.04927	0.00464	0.2671	0.0251	0.03931	0.00067	161	179	240	20	249	4
YL27-14	0.05143	0.00104	0.26025	0.00558	0.03669	0.00049	260	26	235	4	232	3
YL27-15	0.05102	0.0011	0.25865	0.00586	0.03676	0.0005	242	28	234	5	233	3
YL27-16	0.05148	0.00113	0.26626	0.00612	0.03751	0.00051	262	29	240	5	237	3
YL27-17	0.05101	0.00111	0.2609	0.00596	0.03709	0.0005	241	29	235	5	235	3
YL27-18	0.05075	0.00103	0.25879	0.00556	0.03698	0.0005	229	26	234	4	234	3
YL27-19	0.05134	0.00147	0.26527	0.00777	0.03746	0.00052	256	42	239	6	237	3
YL27-20	0.05082	0.00109	0.25791	0.0058	0.0368	0.0005	233	28	233	5	233	3
YL27-21	0.06142	0.0012	0.31422	0.00653	0.0371	0.0005	654	23	277	5	235	3
YL27-22	0.05109	0.00107	0.26567	0.00588	0.03771	0.00051	245	27	239	5	239	3
YL27-23	0.05096	0.00113	0.26091	0.00605	0.03713	0.00051	239	29	235	5	235	3
YL27-24	0.05396	0.00114	0.28012	0.00624	0.03765	0.00051	369	27	251	5	238	3
YL27-25	0.05119	0.00184	0.26008	0.00941	0.03684	0.00054	249	56	235	8	233	3
YL27-26	0.04941	0.00115	0.24889	0.00601	0.03653	0.0005	167	32	226	5	231	3
YL27-27	0.05324	0.00106	0.3112	0.00656	0.04239	0.00057	339	25	275	5	268	4
YL27-28	0.05182	0.00114	0.26747	0.00615	0.03743	0.00051	277	29	241	5	237	3
YL27-29	0.0506	0.0011	0.25836	0.00589	0.03702	0.00051	223	28	233	5	234	3
YL27-30	0.05596	0.0014	0.29065	0.00751	0.03766	0.00052	451	33	259	6	238	3

表3 里农矿段KT2 矿体中辉钼矿(sample YL-8) Re-Os 同位素测年数据

Table 3 Molybdenite (sample YL-8) Re-Os isotopic data for the KT2 ore body in the Linong ore block

样量(g)	Re( $\times 10^{-9}$ )		$^{187}\text{Re}$ ( $\times 10^{-9}$ )		$^{187}\text{Os}$ ( $\times 10^{-9}$ )		模式年龄(Ma)	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
0.01028	55444	440	34847	276	134.3	1.1	230.9	3.2

注:模式年龄  $t$  按  $t = 1/\lambda \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$  计算,其中  $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$  (Smoliar *et al.*, 1996)

正常 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分布。利用 Isoplot 软件得到这个样品 24 个锆石分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $235.6 \pm 1.2\text{Ma}$  (95% confidence, MSWD = 0.66)。该年龄代表了里农花岗闪长岩的结晶时代。

### 3.2 辉钼矿 Re-Os 年龄

羊拉铜矿床矿石中辉钼矿较少,仅采到 1 件样品。里农矿段 KT2 矿体中辉钼矿的模式年龄为  $230.9 \pm 3.2\text{Ma}$ (表 3)。

## 4 讨论

精确厘定羊拉铜矿床花岗闪长岩体的形成时代,对于正确认识羊拉铜矿床的成因具有重要的意义。就本文所测定的 2 个样品来看,路农矿段花岗闪长岩体样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $(234.1 \pm 1.2)\text{Ma}$  (MSWD 值为 0.66),里农矿段 3150 中段南部探矿道内的花岗闪长岩体样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$



加权平均年龄为  $235.6 \pm 1.2\text{Ma}$  (MSWD 值为 0.66), 羊拉铜矿床里农矿段 KT2 矿体中辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄为  $230.9 \pm 3.2\text{Ma}$ 。羊拉铜矿床成矿年龄稍晚于成岩年龄, 推测羊拉铜矿床的成矿作用和里农岩体的侵入作用相关。

一个完整的板块碰撞过程包括挤压、挤压向伸展转变和伸展 3 个不同动力学阶段。早二叠世晚期, 金沙江洋盆向西侧的昌都-思茅板块俯冲消减, 金沙江构造带受到东西向的挤压形成了一系列倾向北西的叠瓦状低角度韧性剪切带。在挤压阶段, 成矿流体和金属主要来自深部俯冲板片的变质脱水作用, 该韧性剪切带因受挤压而紧闭, 不能为成矿流体循环提供良好的通道致使浅部流体活动较弱, 难以有效淋滤地层中的成矿元素形成矿化。在金沙江洋盆俯冲消减作用的挤压向伸展转变阶段, 是成矿作用的主阶段, 俯冲带处于减压增温的特殊构造体制, 减压促进下地壳的熔融和流体的产生, 增温同样促进下地壳的熔融和流体的产生, 二者联合更能导致整个板块碰撞过程中最强烈的岩浆作用和流体作用 (Zhu *et al.*, 2010)。羊拉矿区里农岩体的锆石 U-Pb 同位素年龄 ( $234.1 \sim 235.6\text{Ma}$ ) 及其地球化学特征表明里农花岗岩闪长岩体为晚三叠世早期金沙江洋盆俯冲消减过程中下地壳部分熔融形成的花岗岩闪长岩 (魏君奇等, 1997, 2000)。与此同时, 深部产生大规模流体上涌为浅部流体活动提供了成矿物质和热能。深部流体产生的热能促进了下地壳的熔融和降低了浅部地壳的刚性程度并使之伸展, 导致浅部构造由挤压转为伸展。在构造背景由挤压环境到伸展环境的转折期, 金沙江洋向西俯冲形成的低角度韧性剪切带转变为脆性剪切带 (余凤鸣等, 2000), 这为流体循环提供了良好的通道, 形成了一个热液成矿系统 (Love *et al.*, 2004), 引起了整个板块碰撞过程中最强烈的流体活动和成矿作用, 在脆性剪切带成矿流体与围岩发生交代反应形成交代蚀变带, 并沉淀富集形成了铜矿床。羊拉铜矿床的 S、Pb、C、O、Si 等同位素地球化学特征说明成矿物质来源于上地幔 (潘家永等, 2000)。羊拉铜矿床里农矿段铜矿体中辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄为  $230.9 \pm 3.2\text{Ma}$ , 表明羊拉铜矿床形成于晚三叠世早期构造背景由挤压环境到伸展环境的转折期 (王立全等, 2002)。

## 5 结论

路农矿段花岗岩闪长岩体样品的  $^{206}\text{Pb}$ - $^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $234.1 \pm 1.2\text{Ma}$  (MSWD 值为 0.66), 里农矿段 3150 中段南部探矿道内的花岗岩闪长岩体样品的  $^{206}\text{Pb}$ - $^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $235.6 \pm 1.2\text{Ma}$  (MSWD 值为 0.66), 羊拉铜矿床里农矿段 KT2 矿体中辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄为  $230.9 \pm 3.2\text{Ma}$ , 羊拉铜矿床成矿年龄稍晚于成岩年龄, 形成于晚三叠世早期构造背景由挤压环境到伸展环境的转折期。

## References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ . *Chemical Geology*, 192: 59–79
- Black LP, Kamo SL and Allen CM. 2004. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, LA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205(1): 115–140
- Feng QL, Ge MC, Xie DF, Ma ZD and Jiang YS. 1999. Stratigraphic sequence and tectonic evolution in passive continental margin, Jinshajiang belt, northwestern Yunnan Province, China. *Earth Science*, 24(6): 553–557 (in Chinese with English abstract)
- Gan JM, Zhan MG, Yu FM, He LQ, Chen SF and Dong FL. 1998. Structural deformation and its ore-control significance in Yangla copper district, Deqin, western Yunnan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 14(4): 59–65 (in Chinese with English abstract)
- He LQ, Zhan MG and Lu YF. 1998. Division of sequence stratigraphy and study on ore-bearing beds in Yangla copper orefield, western Yunnan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 14(3): 37–41 (in Chinese with English abstract)
- Love DA, Clark JK and Glover JK. 2004. The lithologic, stratigraphic, and structural setting of the giant Antamina copper-zinc skarn deposit, Ancash, Peru. *Economic Geology*, 99: 887–916
- Lu YF, Chen KX and Zhan MG. 1999. Geochemical evidence of exhalative-sedimentary ore-bearing skarns in Yangla copper mineralization concentrated area, Deqin County, northwestern Yunnan Province. *Earth Science*, 21(2): 191–197 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1–70
- Pan JY, Zhang Q, Ma DS and Li CY. 2000. Stable isotope geochemical characteristics of the Yangla copper deposit in western Yunnan Province. *Acta Mineralogica Sinica*, 20(4): 385–389 (in Chinese with English abstract)
- Pan JY, Zhang Q and Ma DS. 2001. Cherts from the Yangla copper deposit, western Yunnan Province: Geochemical characteristics and relationship with massive sulfide mineralization. *Science in China (Series D)*, 44(3): 237–244
- Qu XM, Yang YQ and Li YG. 2004. A discussion on origin of Yangla copper deposit in light of diversity of ore-hosting rock types. *Mineral Deposits*, 23(4): 431–442 (in Chinese with English abstract)
- Smoliar ML, Walker RJ and Morgan JW. 1996. Re-Os ages of group I A, II A, IV A and IV B iron meteorites. *Science*, 271: 1099–1102
- Wang LQ, Hou ZengQ, Mo XX, Wang MJ and Xu Q. 2002. The post-collisional crustal extension setting: An important mineralizing environment of volcanic massive sulfide deposits in Jinshajiang orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 541–556 (in Chinese with English abstract)
- Wei JQ, Zhan MG, Lu YF, Chen KX and He LQ. 1997. Geochemistry of granitoids in Yangla ore district, western Yunnan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 13(4): 50–56 (in Chinese with English abstract)
- Wei JQ, Chen KX and Wei FY. 2000. Tectonism-magmatism-mineralization in Yangla region, western Yunnan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 16(1): 59–62 (in Chinese with English abstract)
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb ages. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604 (in Chinese)
- Yang GQ. 2009. Geological characteristics, genesis and metallogenic prediction of the Yangla copper deposit in Deqin, Yunnan Province, China. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geoscience,

1 - 101 (in Chinese with English summary)

- Yu FM, Zhan MG, Gan JM and He LQ. 2000. Analysis of micro-tectonic and mechanism of quartz tectonite in Yangla large-scale copper deposit in West Yunnan. *Regional Geology of China*, 19(1): 92 - 99 (in Chinese with English abstract)
- Zhan MG, Lu YF, Chen SF, Dong FL, Chen KX, Wei JQ, He LQ and Huo XS. 1998. Yangla Copper Deposit in Deqin, Western China. Wuhan: China University of Geoscience Publishing House, 30 - 44 (in Chinese)
- Zhu J, Zeng PS, Zeng LC and Yin J. 2009. Stratigraphic subdivision of the Yangla copper district, northwestern Yunnan. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1415 - 1420 (in Chinese with English abstract)
- Zhu LM, Zhang GW, Lee B, Guo B, Gong HJ, Kang L and Lv SL. 2010. Zircon U-Pb dating and geochemical study of the Xianggou granite in the Ma'anqiao gold deposit and its relationship with gold mineralization. *Science China (Earth Sci.)*, 53(2): 220 - 240

#### 附中文参考文献

- 冯庆来, 葛孟春, 谢德凡, 马振东, 江元生. 1999. 滇西北金沙江带被动陆缘地层层序和构造演化. *地球科学*, 24(6): 553 - 557
- 甘金木, 战明国, 余凤鸣, 何龙清, 陈式房, 董芳浏. 1998. 滇西德钦羊拉铜矿区构造变形特征及其控矿作用分析. *华南地质与矿产*, 14(4): 59 - 65
- 何龙清, 战明国, 路远发. 1998. 滇西羊拉铜矿区层序地层划分及赋矿层位研究. *华南地质与矿产*, 14(3): 37 - 41
- 路远发, 陈开旭, 战明国. 1999. 羊拉地区含矿矽卡岩成因的地球化学

- 证据. *地球科学*, 24(3): 298 - 303
- 潘家永, 张乾, 马东升, 李朝阳. 2000. 滇西羊拉铜矿床稳定同位素地球化学研究. *矿物学报*, 20(4): 385 - 389
- 曲晓明, 杨岳清, 李佑国. 2004. 从赋矿岩系岩石类型的多样性论羊拉铜矿的成因. *矿床地质*, 23(4): 431 - 442
- 王立全, 侯增谦, 莫宣学, 汪明杰, 徐强. 2002. 金沙江造山带碰撞后地壳伸展背景火山成因块状硫化物矿床的重要成矿环境. *地质学报*, 76(4): 541 - 556
- 魏君奇, 战明国, 路远发, 陈开旭, 何龙清. 1997. 滇西德钦羊拉矿区花岗岩类地球化学. *华南地质与矿产*, 13(4): 50 - 56
- 魏君奇, 陈开旭, 魏福玉. 2000. 滇西羊拉地区构造-岩浆-成矿作用分析. *华南地质与矿产*, 16(1): 59 - 62
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589 - 1604
- 杨广全. 2009. 云南德钦羊拉铜矿地质特征、成因和成矿预测. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1 - 101
- 余凤鸣, 战明国, 甘金木, 何龙清. 2000. 滇西羊拉大型铜矿床石英构造岩微观构造与动力学分析. *中国区域地质*, 19(1): 92 - 99
- 站明国, 路远发, 陈式房, 董芳浏, 陈开旭, 魏君奇, 何龙清, 霍乡生. 1998. 滇西德钦羊拉铜矿. 武汉: 中国地质大学出版社, 30 - 44
- 朱俊, 曾普胜, 曾礼传, 尹静. 2009. 滇西北羊拉铜矿区地层划分. *地质学报*, 83(10): 1415 - 1420