

滇西北普朗斑岩铜矿锆石离子探针 U-Pb 年龄： 成矿时限及地质意义*

王守旭^{1,2,3} 张兴春^{1**} 冷成彪^{1,2} 秦朝建¹ 马德云³ 王外全⁴

WANG ShouXu^{1,2,3}, ZHANG XingChun^{1**}, LENG ChengBiao^{1,2}, QIN ChaoJian¹, MA DeYun³ and WANG WaiQuan⁴

1. 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

3. 山东黄金集团有限公司, 济南 250014

4. 云南地勘局第三地质大队, 大理 671000

1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyan 550002, China

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3. Shandong Gold Group Co., LTD., Jinan 250014, China

4. Party 3 of the Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Dali 671000, China

2007-10-21 收稿, 2008-07-21 改回.

Wang SX, Zhang XC, Leng CB, Qin CJ, Ma DY and Wang WQ. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Pulang porphyry copper deposit, northwestern Yunnan, China: The ore-forming time limitation and geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 24(10):2313-2321

Abstract The high precision Zircon SHRIMP U-Pb dating method has been applied to measure the ages of the copper mineralized monzonite porphyry in the Pulang porphyry copper deposit, northwestern Yunnan, China, with the dated ages of $228 \pm 3\text{Ma}$, $226.3 \pm 2.8\text{Ma}$ and $226 \pm 3\text{Ma}$. The shapes of the zircon samples and the parameters of their contained uranium and thorium are in accordance with the characteristics of the typical magmatic zircon. The dated ages of zircon samples are almost identical within the range of deviation. This indicates that the magma, which formed the copper mineralized monzonite porphyry, was emplaced rapidly from its magma chamber. In the combination of the zircon SHRIMP U-Pb dating ages of the porphyry samples, and the previously published data of the Ar-Ar plateau ages of biotite samples and the Re-Os isochronism age of molybdenite sample, it is believed that the main ore-forming stage of the Pulang porphyry copper deposit occurred at 216 ~ 214Ma, and then it is inferred that the magma-hydrothermal fluid system of the Pulang porphyry copper deposit could have been lasted over 10Ma from its magma emplacement stage to the magmatic hydrothermal mineralization stage. The magmatic hydrothermal fluid, which was derived from the magma chamber and rich in ore-forming materials and volatiles, had strongly altered the Pulang porphyry complex and extracted some ore-forming material from it at the relative later stage.

Key words Zircon; SHRIMP U-Pb dating; Porphyry copper deposit; Pulang; Zhongdian

摘要 应用高精度离子探针锆石 U-Pb 测年方法, 获得普朗斑岩铜矿床中 3 件矿化石英二长斑岩的锆石年龄分别为 $228 \pm 3\text{Ma}$ 、 $226.3 \pm 2.8\text{Ma}$ 、 $226 \pm 3\text{Ma}$ 。锆石形态和铀钍参数均属典型的岩浆锆石特征, 年龄值在误差范围内近似一致, 表明形成矿化斑岩的中酸性岩浆从岩浆房快速上升侵位。结合前人已发表的矿化斑岩的黑云母 Ar-Ar 坪年龄及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄等数据, 推测普朗斑岩铜矿的岩浆-热液系统从岩浆侵入至矿化阶段的持续时间可能长达 10Ma 以上, 主成矿期约为 216 ~ 214Ma。从岩浆房分离出的富含成矿物质和挥发份的岩浆流体在相对较晚阶段对普朗复式岩体发生了强烈的蚀变作用

* 国家自然科学基金项目(40372049)、国家“973”项目课题(2002CB412605)和中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-125)资助。

第一作者简介: 王守旭, 男, 1979 年生, 博士研究生, 从事矿床地球化学研究, E-mail: wsx361@163.com

** 通讯作者: 张兴春, 男, 博士, 矿床地质及地球化学专业, E-mail: zhangxingchun@vip.gyig.ac.cn

并可能进一步萃取了岩体中的成矿物质。

关键词 锆石; 离子探针 U-Pb 测年; 斑岩铜矿; 中甸普朗
中图法分类号 P597.3; P588.132 P618.41

普朗斑岩铜矿床位于云南省香格里拉县(中甸)格咱乡,是在1999年由云南地矿局三大队和比利顿矿业公司合作找矿中发现的。其大地构造位置处于我国西南部三江地区义敦岛弧南端的中甸弧的东侧,是在晚三叠世甘孜—理塘洋盆西向俯冲过程中形成的一个大型甚至超大型矿床。普朗矿区目前已圈定7个工业矿体,其中,主矿体(KT1)探明资源量达436万吨(李文昌,2007)。中甸地区广泛分布有印支期斑岩体,同时发育有众多的与其有关的斑岩型和矽卡岩型矿床或矿点。区内经矿产勘查发现矿(化)点计30余处,总体构成了包括斑岩型、矽卡岩型及热液型等多种矿化类型的铜多金属成矿带,是我国具有巨大找矿前景的区域^①(赵准,1995;曾普胜等,1999,2003,2004a,b,2006;杨岳清等,2002;侯增谦等,2004;曹殿华等,2006;范玉华和李文昌,2006;李文昌,2007)。

对矿床的含矿岩石、某些热液蚀变矿物和某些矿石矿物进行精确的测年工作,是深入探讨和研究矿床的成矿物质来源、成矿机制及成矿动力学背景等问题的基础。本文应用离子探针 U-Pb 测年方法对普朗矿区的矿化石英二长斑岩中的锆石进行了精确测定,限定了普朗含矿斑岩的形成时代,也为深入研究中甸地区印支期洋盆俯冲过程提供了重要依据。

1 区域地质背景和矿床地质特征

中甸地区出露地层主要为三叠系,其下、中统为一套碎屑岩夹碳酸盐岩、硅质岩,上统为一套巨厚的复理石砂板岩夹火山岩、碳酸盐岩。区内断裂构造发育,NW向断裂规模较大,发育较早,与区域主构造线方向一致,多属逆断层;NE向断裂规模较小,发育较晚,常错开NW向断裂。火山岩主要是晚三叠世卡尼期至诺利期的以安山岩为主的钙碱性系列玄武岩—安山岩组合(侯增谦等,2003)。侵入体主要是与安山岩同源的印支期中酸性斑岩(杨岳清等,2002),岩带或岩体的延伸方向与区域主构造线方向一致,明显受NW向断裂控制;北部地区出露燕山晚期花岗岩(表1中的休瓦促和热林矿点),中部地区出露少量的喜马拉雅期富碱斑岩(表1中的亚杂矿点)。三期岩浆活动均伴有不同程度的铜多金属矿化,其中印支期斑岩体与成矿关系尤为密切(表1)。

中甸地区在早三叠世处于甘孜—理塘洋盆西侧的被动陆缘;晚三叠世中晚期,甘孜—理塘洋壳向西俯冲,中甸褶皱带东缘由被动陆缘转为活动陆缘,沿俯冲方向依次发育岛弧和弧后盆地,构成了较为完整的沟—弧—盆体系;晚三叠世末,甘孜—理塘洋盆闭合,经短暂的残留海发育阶段,最后碰撞造山^①(张世涛和冯庆林,2000;杨岳清等,2002;尹光侯等,2005;黄建国和张留清,2005)。这一构造体制的完成,奠

定了中甸地区三叠纪末至今的基本构造格局。

普朗矿区出露诸多中酸性小岩体,物探推测深部有隐伏岩体^①。普朗斑岩铜矿即位于NW向的黑水塘断裂(图1中F1断层)和隐伏的NEE向的全干力达断裂的交汇部位。矿区出露地层主要为上三叠统图姆沟组二、三段(T_3t^{2-3}),岩性为砂板岩夹安山岩。普朗复式岩体由5个单岩体构成,推测各个单岩体在深部连成一体。岩体总面积为8.9km²,其中矿化岩体约为1.27km²。岩体具明显的多次脉动侵入特征,可分为三期:第一期为大面积分布的石英闪长玢岩(部分为二长闪长玢岩),约占4/5;第二期为复式岩体中心的石英二长斑岩和花岗闪长斑岩,约占1/5;第三期为岩脉状闪长玢岩。前两期岩性演化趋势显示为中基性→中酸性,最晚期闪长玢岩呈岩脉状穿插于早期岩株状侵入体中,无矿化现象^①(李文昌,2007)。普朗复式岩体蚀变强烈,具典型的斑岩铜矿蚀变分带特征,自内向外依次为钾化硅化带(石英二长斑岩、花岗闪长斑岩)→绢英岩化带(石英二长斑岩及石英闪长玢岩内侧)→青盘岩化带(石英闪长玢岩外侧),岩体外围为角岩化砂板岩和未蚀变砂板岩(图1)。各蚀变带出现的金属矿物组合依次为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿→黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿→黄铁矿^①(谭康华等,2005,2007;范玉华和李文昌,2006)。

含矿岩体及围岩主要为石英二长斑岩和石英闪长玢岩及少量花岗闪长斑岩和二长闪长玢岩,矿体与围岩呈渐变关系,无明显界线。矿石构造主要为细脉浸染状构造和网脉状构造。矿石结构主要为半自形—他形粒状结构和交代溶蚀结构。金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿及少量辉钼矿、磁黄铁矿,脉石矿物有斜长石、钾长石、石英、角闪石、黑云母、绿泥石、绢云母、绿帘石、方解石等,次生矿物有孔雀石、褐铁矿、石膏等,副矿物有锆石、磷灰石、榍石等。

2 样品采集和分析方法

本次研究的3件样品均采自普朗斑岩铜矿中的矿化石英二长斑岩,其中,PL04-9样品采自钻孔PLD001南约25m的坑道口的矿石堆,来自主矿体(KT1),发育有成矿晚期形成的钾长石脉,矿化呈细脉浸染状;KT5样品采自主矿体东北矿化体中的长条状矿体(KT5),发育有较粗的硫化物脉;PLD001样品采自钻孔PLD001附近的主矿体(KT1)露头,钾化硅化强烈,矿化呈细脉浸染状。

样品经常规的粉碎、重选、磁选等程序,分选出纯度较高

^① 云南省地质调查院. 2004. 云南中甸地区矿产资源评价. 2004年地质工作设计

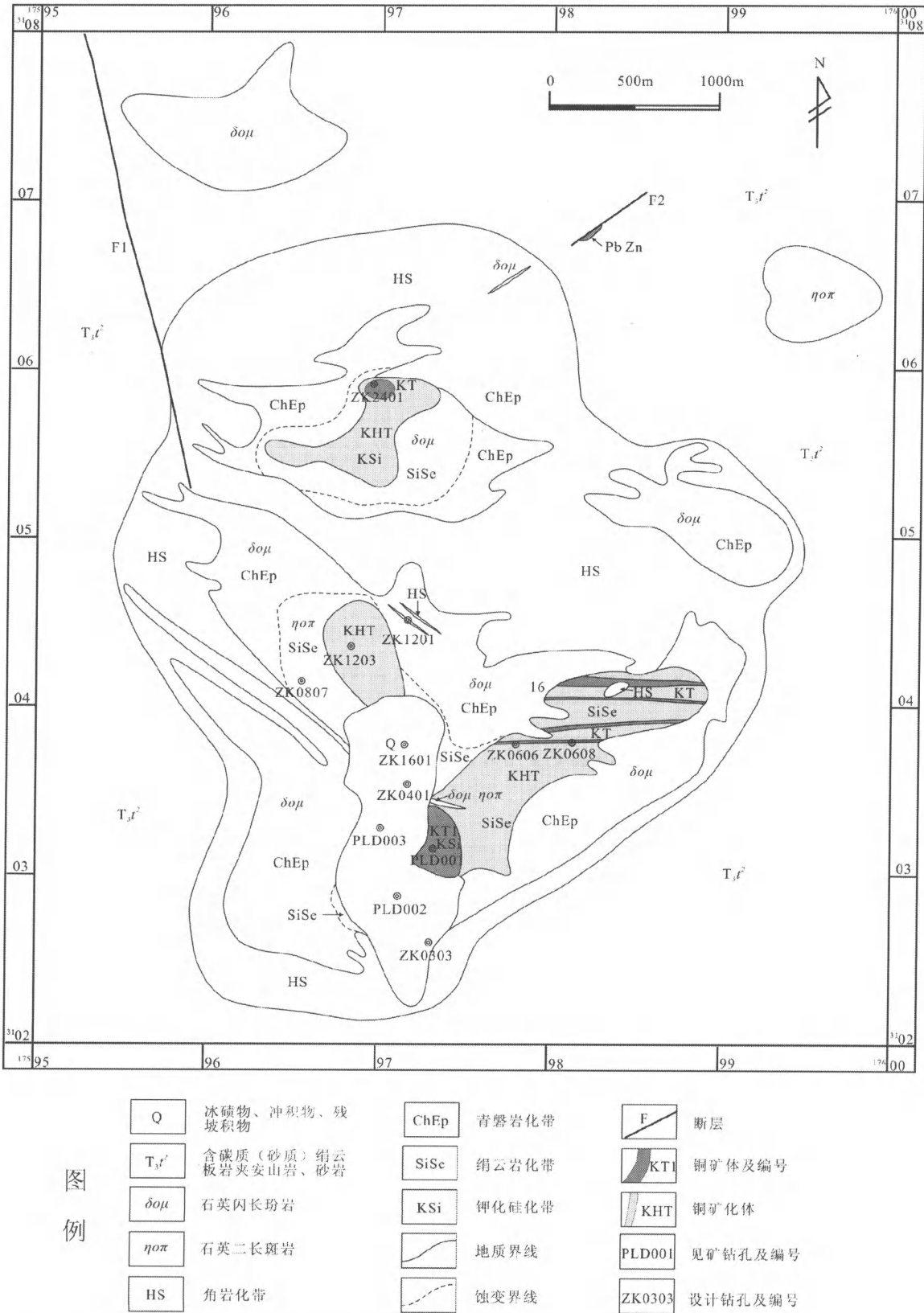


图1 普朗斑岩铜矿地质图(据云南省地质调查院,2004^①修改)

Fig. 1 The geological map of the PuLang porphyry copper deposit (modified after data from the Yunnan Geological Survey, 2004)

表1 中甸地区一些斑岩的同位素年龄

Table 1 Some isotopic dating ages of various porphyry bodies in the Zhongdian area

| 矿床 | 岩性 | 矿物 | 测试方法 | 同位素年龄/Ma | 来源 |
|-----|---------|-----|-------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 普朗 | 石英二长斑岩 | 黑云母 | $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 | 216.0 ± 1 | 曾普胜等(2006) |
| | 石英二长斑岩 | 黑云母 | $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 | 214.6 ± 0.9 | |
| | 无矿化斑岩 | 黑云母 | K-Ar 模式年龄 | 221.5 ± 2.0 | |
| | 低品位斑岩 | 黑云母 | K-Ar 模式年龄 | 230.9 ± 2.2 | |
| | 高品位斑岩 | 黑云母 | K-Ar 模式年龄 | 235.4 ± 2.4 | |
| | 高品位斑岩 | 黑云母 | K-Ar 模式年龄 | 223.5 ± 2.1 | |
| | 高品位斑岩 | 钾长石 | K-Ar 模式年龄 | 182.5 ± 1.8 | |
| | 含石英英脉 | 辉钼矿 | Re-Os 等时线年龄 | 213 ± 3.8 | |
| | 含石英英脉 | 辉钼矿 | Re-Os 模式年龄 | 218 ± 3.4 ~ 219.7 ± 3.4 | |
| 红山 | 石英二长斑岩 | 全岩 | Rb-Sr 模式年龄 | 214 | 云南省区域地质志(1990) |
| | 含石英英脉 | 辉钼矿 | Re-Os 等时线年龄 | 77 ± 2 | 徐兴旺等(2006) |
| 浪都 | 黑云二长花岗岩 | 黑云母 | $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 | 216.93 ± 4.34 | 曾普胜等(2003) |
| 雪鸡坪 | 石英闪长玢岩 | 角闪石 | $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 | 249.29 ± 4.99 | 曾普胜等(2003) |
| | 石英闪长玢岩 | 锆石 | SHRIMP U-Pb 年龄 | 215.3 ± 2.3 | 林清茶等(2006) |
| 甬哥 | 正长岩 | 锆石 | 稀释法 U-Pb 年龄 | 201.4 ± 8.2 | 曹殿华等(2007) |
| | 花岗岩 | 全岩 | Rb-Sr 等时线年龄 | 88 ± 3 | 侯增谦等(2003) |
| 休瓦促 | 含石英英脉 | 辉钼矿 | Re-Os 模式年龄 | 86.7 ± 2.1 ~ 85.8 ± 2.6 | 侯增谦等(2003) |
| | 含石英英脉 | 辉钼矿 | Re-Os 等时线年龄 | 88 ± 1 | 李建康等(2007) |
| 热林 | 花岗岩 | 全岩 | Rb-Sr 等时线年龄 | 80.4 | 云南省区域地质志(1990) |
| | 含石英英脉 | 辉钼矿 | Re-Os 等时线年龄 | 81.2 ± 2.3 | 李建康等(2007) |
| 亚杂 | 石英闪长玢岩 | 角闪石 | $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 | 53.0 ± 1.1 | 曾普胜等(2003) |

的锆石,然后在双目镜下精选。将样品锆石和标准锆石(417Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光,然后进行透射光、反射光和阴极发光照相以确定单颗粒锆石的晶体形态和内部结构。锆石的离子探针 U-Pb 分析是在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP II 仪器上完成的。详细的分析原理和流程参考宋彪等(2002)。单个数据点的误差均为 1σ , 年龄采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值为 95% 的置信度。

3 测试结果

用于同位素测年的锆石多呈自形一半自形柱状,少数近于浑圆状,双锥发育,晶棱晶面清晰,透明或微透明,金刚光泽,粒径一般在 $200\mu\text{m} \sim 450\mu\text{m}$ 之间。阴极发光图像显示锆石具有清晰的岩浆震荡环带,内部结构单一,无残留核、新生环带及蜕晶现象(图2),属于典型的岩浆锆石。

3 件样品的锆石同位素测试结果列于表2,其谐和图解见图3。数据表明,PL04-9 锆石的 U 含量为 $252.16 \times 10^{-6} \sim 418.95 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $181.56 \times 10^{-6} \sim 389.74 \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值为 0.63 ~ 1.01; KT5 锆石的 U 含量为 $263.57 \times 10^{-6} \sim 564.96 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $191.12 \times 10^{-6} \sim 633.02 \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值为 0.75 ~ 1.21; PLD001 锆石的 U 含量为 $226.76 \times 10^{-6} \sim 438.91 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $149.28 \times 10^{-6} \sim 383.12 \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值为 0.68 ~ 1.01。3 件样品的锆石铀、钍含量及 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值均显示为典型的岩浆锆石特征(吴

元保和郑永飞,2004)。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值变化幅度较小,说明锆石形成于铀、钍含量较为均一的岩浆环境。

测年结果显示,样品 PL04-9 的 12 个测试点的表面年龄介于 $247.7 \pm 5.9 \sim 218.7 \pm 4.9\text{Ma}$,其加权平均年龄为 $228 \pm 3\text{Ma}$,MSWD = 1.5。样品 KT5 的 13 个测试点的表面年龄介于 $236.1 \pm 5.1 \sim 219.9 \pm 5.0\text{Ma}$,其加权平均年龄为 $226.3 \pm 2.8\text{Ma}$,MSWD = 0.94。样品 PLD001 的 14 个测试点的表面年龄介于 $234.8 \pm 6.5 \sim 219.4 \pm 5.2\text{Ma}$,其加权平均年龄为 $226 \pm 3\text{Ma}$,MSWD = 0.91。

4 讨论

4.1 普朗斑岩铜矿成岩成矿时代

矿床的精确测年工作,是深入研究矿床的物质来源、形成机制及动力学过程等问题的基础。锆石具有物理化学性质稳定,富含铀钍元素,普通铅含量低,离子扩散速率,封闭温度高($>800^\circ\text{C}$)等特点(Lee *et al.*, 1997; Cherniak *et al.*, 1997; Cherniak and wafson, 2001; 谢桂青等,2001; 吴元保和郑永飞,2004; 钟玉芳和马昌前,2006),是确定侵入岩体结晶年龄的理想对象。本次测年结果显示,所测 3 件样品的数据点均位于 U-Pb 谐和线上及附近,表明锆石结晶以后 U-Pb 同位素体系封闭性良好,同位素年龄的地质意义确切,可代表普朗矿区石英二长斑岩的侵入年龄,说明石英二长斑岩是在晚三叠世卡尼早期以快速脉动的形式上升侵位,同时也说明甘孜—理塘洋盆在中甸地区的俯冲始于三叠世拉丁期与

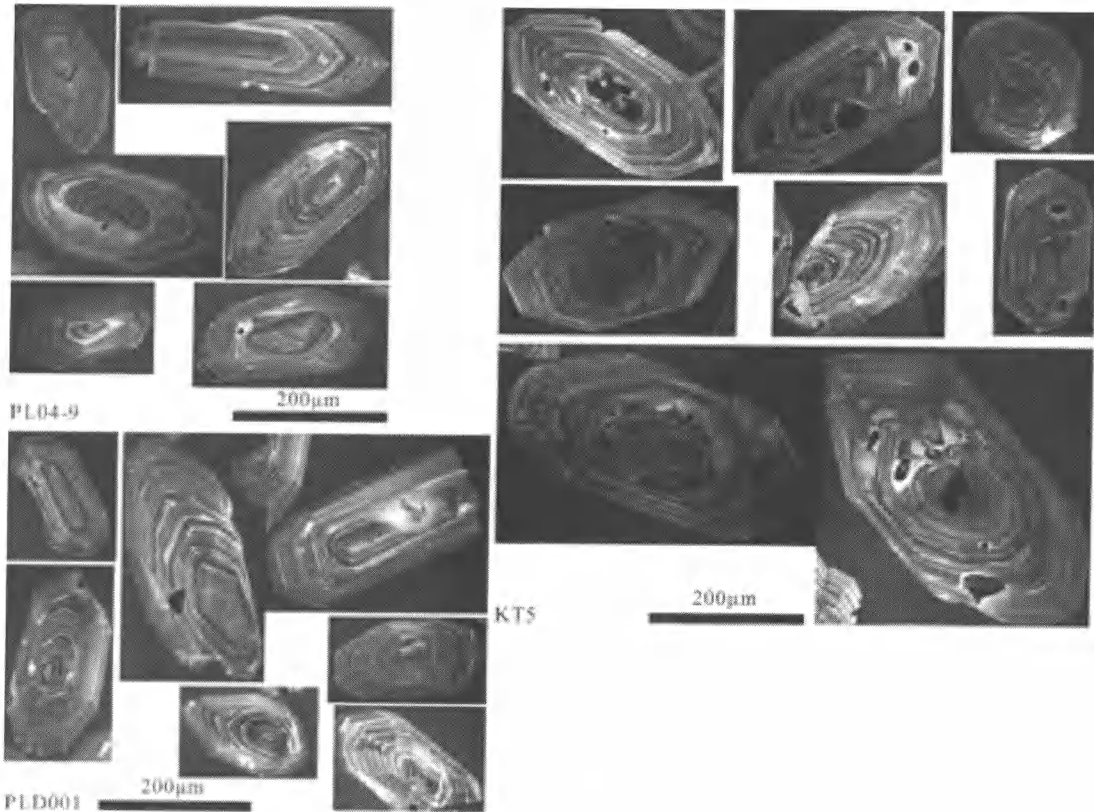


图2 普朗斑岩铜矿锆石阴极发光图像

Fig. 2 The cathodoluminescence pictures of zircon grains from porphyries of the Pulang porphyry copper deposit

卡尼期交替之际或者更早的时代。

普朗矿区的矿化斑岩中钾化蚀变普遍发育,其与矿化存在密切关系。矿化斑岩相对新鲜斑岩, K_2O 含量由 3.5% 左右上升至 6% ~ 7%, 且铜品位与 K_2O 含量一般呈正比关系(曾普胜等, 2006; 范玉华和李文昌, 2006)。矿化斑岩中的黑云母多呈细鳞片状密集发育, 主要为钾化作用形成的次生黑云母。曾普胜等(2006)报道了普朗矿区 2 件钾化硅化石英二长斑岩的黑云母 Ar-Ar 坪年龄为 214.6 ± 0.9 Ma 和 216 ± 1 Ma, 其相应的等时线年龄分别是 213.4 ± 1.5 Ma 和 213.6 ± 3.6 Ma。黑云母的坪年龄与等时线年龄在误差范围内近似一致, 说明测年结果是可靠的, 因而可将其坪年龄视为普朗斑岩铜矿的钾化蚀变年龄。

曾普胜等(2004b)和曹殿华(2007)还利用辉钼矿 Re-Os 法对普朗斑岩铜矿进行了成矿年龄分析, 其同位素测试结果汇总列于表 3。如表 3 所示, 9 件辉钼矿的模式年龄变化于 211.4 ~ 219.7 Ma, 说明普朗铜矿的成矿时代明显晚于石英二长斑岩的侵入时代。曾普胜等(2004b)和曹殿华(2007)同时给出了辉钼矿的等时线年龄, 分别为 213 ± 3.8 Ma 和 208 ± 15 Ma。由于上述两组等时线年龄存在较大差异, 为了较为准确地反映普朗铜矿的成矿时代, 作者对 9 组数据利用 Isoplot 软件重新进行了等时线年龄计算(铼衰变常数: $1.666 \times 10^{-11} a^{-1}$)。结果表明: ① 如果 9 组数据全部参与计算, 则等

时线年龄为 206 ± 31 Ma, MSWD = 13, 其中 PL03-15 相对偏移等时线; ② 如果去掉 PL03-15 数据点, 其余 8 件样品可以拟合成一条较好的等时线, 各数据点均匀分布在等时线两侧, 年龄为 214 ± 25 Ma, MSWD = 5.5 (图 4)。

野外观察表明, 辉钼矿主要呈细鳞片状集合体沿石英英脉壁或裂隙面分布, 常与绿泥石、绿帘石及黄铜矿、黄铁矿等矿物共生。参考普朗矿区的石英二长斑岩侵入年龄和钾化蚀变年龄, 作者以为辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 214 Ma 可能代表了网脉状矿化的年龄。

4.2 岩浆—热液系统的演化时限

含矿石英脉中的流体包裹体特征证实普朗斑岩铜矿的成矿流体主要为岩浆流体(王守旭等, 2007a)。因此, 石英二长斑岩的锆石 U-Pb 年龄既可代表斑岩侵入年龄, 又可视作岩浆—热液系统的上限年龄。一般来说, 斑岩铜矿中钾硅酸盐化是高温蚀变类型(500 ~ 600 °C), 但由于其主要蚀变产物黑云母的 K-Ar 同位素体系封闭温度相对较低(300 ± 50 °C), 因而黑云母的同位素年龄实际上是记录了斑岩铜矿床中温蚀变以来的历史。芮宗瑶等(2003)指出, 斑岩铜矿中黄铁矿的结晶温度为 450 ~ 150 °C, 黄铜矿的结晶温度为 350 ~ 250 °C。由此可知, 黑云母的同位素年龄又可代表斑岩铜矿的主成矿期(尤其是铜矿化)年龄。综合以上斑岩的锆石离

表2 普朗斑岩铜矿锆石离子探针 U-Pb 同位素分析结果

Table 2 Zircons SHRIMP U-Pb isotope testing results of the PuLang porphyry copper deposit

| 测点 | ²⁰⁶ Pb _c (%) | U (×10 ⁻⁶) | Th (×10 ⁻⁶) | ²³² Th/ ²³⁸ U | ²⁰⁶ Pb* (×10 ⁻⁶) | ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄(Ma) | ²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* (±%) | ²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U (±%) | ²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U (±%) |
|--------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|---|--|--|--|
| PL04-9 | | | | | | | | | |
| 1 | 0.62 | 318.31 | 311.90 | 1.01 | 9.88 | 227.4 ± 5.4 | 0.0475 ± 6.3 | 0.235 ± 6.7 | 0.03591 ± 2.4 |
| 2 | 0.90 | 252.16 | 181.56 | 0.74 | 7.61 | 220.5 ± 5.3 | 0.0498 ± 8.8 | 0.239 ± 9.1 | 0.03480 ± 2.5 |
| 3 | 0.35 | 376.23 | 296.45 | 0.81 | 11.8 | 230.1 ± 5.3 | 0.0502 ± 5.5 | 0.251 ± 6.0 | 0.03633 ± 2.3 |
| 4 | 0.35 | 418.95 | 389.74 | 0.96 | 13.4 | 234.8 ± 5.8 | 0.0479 ± 3.5 | 0.245 ± 4.3 | 0.03710 ± 2.5 |
| 5 | 0.60 | 321.98 | 222.70 | 0.71 | 9.95 | 226.4 ± 5.1 | 0.0473 ± 4.4 | 0.233 ± 4.9 | 0.03574 ± 2.3 |
| 6 | 0.67 | 293.31 | 250.83 | 0.88 | 9.83 | 245.1 ± 5.8 | 0.0425 ± 6.7 | 0.227 ± 7.1 | 0.03875 ± 2.4 |
| 7 | 0.10 | 414.42 | 366.04 | 0.91 | 12.6 | 224.5 ± 4.9 | 0.0517 ± 2.6 | 0.2525 ± 3.5 | 0.03544 ± 2.2 |
| 8 | 0.00 | 314.62 | 207.31 | 0.68 | 9.67 | 226.5 ± 5.1 | 0.0502 ± 2.8 | 0.2473 ± 3.6 | 0.03576 ± 2.3 |
| 9 | 0.21 | 346.30 | 233.81 | 0.70 | 10.7 | 227.4 ± 5.0 | 0.0496 ± 2.8 | 0.2454 ± 3.6 | 0.03591 ± 2.2 |
| 10 | 0.00 | 350.39 | 298.90 | 0.88 | 10.9 | 228.9 ± 5.0 | 0.0513 ± 2.6 | 0.2557 ± 3.4 | 0.03614 ± 2.2 |
| 11 | 0.20 | 334.93 | 205.35 | 0.63 | 9.94 | 218.4 ± 4.9 | 0.0497 ± 3.4 | 0.2360 ± 4.0 | 0.03447 ± 2.3 |
| 12 | 0.11 | 361.63 | 267.33 | 0.76 | 11.3 | 229.8 ± 5.1 | 0.0507 ± 2.8 | 0.2536 ± 3.6 | 0.03628 ± 2.2 |
| KT5 | | | | | | | | | |
| 1 | 0.00 | 268.43 | 205.56 | 0.79 | 8.00 | 219.9 ± 5.0 | 0.0502 ± 3.2 | 0.2400 ± 3.9 | 0.03470 ± 2.3 |
| 2 | 0.21 | 505.08 | 588.43 | 1.20 | 16.0 | 232.7 ± 5.0 | 0.0492 ± 3.0 | 0.2493 ± 3.7 | 0.03676 ± 2.2 |
| 3 | 0.26 | 348.83 | 354.70 | 1.05 | 10.8 | 226.8 ± 5.0 | 0.0469 ± 3.0 | 0.2318 ± 3.7 | 0.03581 ± 2.2 |
| 4 | 0.34 | 263.57 | 191.12 | 0.75 | 8.12 | 226.4 ± 5.2 | 0.0475 ± 4.1 | 0.2340 ± 4.7 | 0.03575 ± 2.3 |
| 5 | 0.30 | 416.19 | 487.64 | 1.21 | 12.6 | 222.2 ± 4.9 | 0.0471 ± 4.4 | 0.2280 ± 5.0 | 0.03507 ± 2.2 |
| 6 | 0.08 | 478.05 | 543.61 | 1.17 | 15.0 | 230.6 ± 5.9 | 0.0504 ± 2.4 | 0.2530 ± 3.5 | 0.03642 ± 2.6 |
| 7 | 0.21 | 564.96 | 633.02 | 1.16 | 18.1 | 236.1 ± 5.1 | 0.0481 ± 2.3 | 0.2474 ± 3.2 | 0.03730 ± 2.2 |
| 8 | 0.66 | 364.36 | 309.18 | 0.88 | 11.1 | 222.5 ± 5.0 | 0.0466 ± 3.9 | 0.2260 ± 4.5 | 0.03512 ± 2.3 |
| 9 | 0.48 | 420.56 | 358.14 | 0.88 | 12.7 | 221.8 ± 4.9 | 0.0484 ± 4.4 | 0.2340 ± 4.9 | 0.03501 ± 2.3 |
| 10 | 0.00 | 274.43 | 226.99 | 0.85 | 8.35 | 224.4 ± 5.1 | 0.0526 ± 3.0 | 0.2570 ± 3.7 | 0.03543 ± 2.3 |
| 11 | 0.14 | 471.81 | 451.04 | 0.99 | 14.7 | 228.9 ± 5.0 | 0.0507 ± 2.4 | 0.2529 ± 3.3 | 0.03614 ± 2.2 |
| 12 | 0.36 | 306.55 | 239.02 | 0.81 | 9.26 | 222.0 ± 5.0 | 0.0462 ± 4.3 | 0.2230 ± 4.9 | 0.03503 ± 2.3 |
| 13 | 0.25 | 505.82 | 573.98 | 1.17 | 15.8 | 230.3 ± 5.1 | 0.0490 ± 3.1 | 0.2455 ± 3.9 | 0.03637 ± 2.2 |
| PLD001 | | | | | | | | | |
| 1 | 0.53 | 435.46 | 377.72 | 0.90 | 13.3 | 223.8 ± 7.9 | 0.0471 ± 4.8 | 0.229 ± 6.0 | 0.03530 ± 3.6 |
| 2 | 0.41 | 330.46 | 262.95 | 0.82 | 10.2 | 226.0 ± 5.2 | 0.0467 ± 4.0 | 0.230 ± 4.6 | 0.03568 ± 2.4 |
| 3 | 0.70 | 302.47 | 227.63 | 0.78 | 9.14 | 221.2 ± 5.3 | 0.0456 ± 6.5 | 0.219 ± 7.0 | 0.03491 ± 2.4 |
| 4 | 0.38 | 226.76 | 149.28 | 0.68 | 7.12 | 230.4 ± 5.8 | 0.0510 ± 6.2 | 0.256 ± 6.7 | 0.03639 ± 2.6 |
| 5 | 0.18 | 438.91 | 383.12 | 0.90 | 13.9 | 233.4 ± 5.2 | 0.0474 ± 3.8 | 0.241 ± 4.5 | 0.03687 ± 2.3 |
| 6 | 0.22 | 382.78 | 340.98 | 0.92 | 12.2 | 234.8 ± 6.5 | 0.0504 ± 3.4 | 0.258 ± 4.4 | 0.03710 ± 2.8 |
| 7 | 0.16 | 386.19 | 335.71 | 0.90 | 12.2 | 231.9 ± 5.6 | 0.0494 ± 3.6 | 0.250 ± 4.4 | 0.03663 ± 2.5 |
| 8 | 0.30 | 355.50 | 346.25 | 1.01 | 11.1 | 230.4 ± 5.6 | 0.0573 ± 4.4 | 0.288 ± 5.1 | 0.03638 ± 2.5 |
| 9 | 0.66 | 317.01 | 251.24 | 0.82 | 9.65 | 223.0 ± 5.2 | 0.0451 ± 5.6 | 0.219 ± 6.0 | 0.03519 ± 2.6 |
| 10 | 0.36 | 244.76 | 167.56 | 0.71 | 7.31 | 219.4 ± 5.2 | 0.0467 ± 4.9 | 0.223 ± 5.4 | 0.03462 ± 2.7 |
| 11 | 0.64 | 373.61 | 326.76 | 0.90 | 11.2 | 219.5 ± 5.0 | 0.0467 ± 4.4 | 0.223 ± 5.0 | 0.03463 ± 2.8 |
| 12 | 0.32 | 318.48 | 208.52 | 0.68 | 9.98 | 230.2 ± 5.7 | 0.0512 ± 4.0 | 0.257 ± 4.7 | 0.03636 ± 2.9 |
| 13 | 0.19 | 476.03 | 491.21 | 1.07 | 14.7 | 227.0 ± 5.8 | 0.0487 ± 3.8 | 0.241 ± 4.6 | 0.03584 ± 2.10 |
| 14 | 0.83 | 320.23 | 263.78 | 0.85 | 9.71 | 221.8 ± 5.2 | 0.0439 ± 7.7 | 0.212 ± 8.0 | 0.03501 ± 2.11 |

注: 分析精度为1σ; Pb_c指普通²⁰⁶Pb占全部²⁰⁶Pb的百分比; Pb*为放射成因铅含量; 年龄和同位素比值均以实测的²⁰⁴Pb校正

表3 普朗斑岩铜矿辉钼矿的 Re、Os 同位素含量及模式年龄

Table 3 Re and Os contents and model age of molybdenite from the Pulang porphyry copper deposit

| 样品号 | 样品重(g) | Re(×10 ⁻⁶) | ¹⁸⁷ Re(×10 ⁻⁶) | ¹⁸⁷ Os(×10 ⁻⁹) | 模式年龄/Ma | 资料来源 |
|---------|---------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| PL2-1-1 | 0.00534 | 379.3 ± 4.0 | 238.4 ± 2.5 | 860.8 ± 6.9 | 216.3 ± 3.5 | 曾普胜等(2004b) |
| PL2-1-2 | 0.00548 | 332.5 ± 4.4 | 209.0 ± 2.8 | 738.5 ± 6.1 | 211.7 ± 3.8 | |
| PL2-1-3 | 0.00305 | 239.8 ± 2.2 | 150.7 ± 1.4 | 534.8 ± 6.2 | 212.6 ± 3.7 | |
| PL2-2 | 0.00655 | 322.4 ± 3.9 | 202.6 ± 2.4 | 715.1 ± 5.7 | 211.4 ± 3.6 | |
| PL-23 | 0.00252 | 289.2 ± 2.9 | 181.8 ± 1.8 | 662.6 ± 4.8 | 218.4 ± 3.4 | 曹殿华(2007) |
| PL-24 | 0.00253 | 300.2 ± 3.4 | 188.7 ± 2.2 | 689.6 ± 5.3 | 219.0 ± 3.6 | |
| PL03-13 | 0.00183 | 284.8 ± 2.9 | 179.0 ± 1.8 | 654.1 ± 5.3 | 218.9 ± 3.5 | |
| PL03-14 | 0.00290 | 315.6 ± 3.2 | 198.4 ± 2.0 | 721.8 ± 5.7 | 218.0 ± 3.4 | |
| PL03-15 | 0.00170 | 281.8 ± 2.7 | 171.1 ± 1.7 | 649.5 ± 5.1 | 219.7 ± 3.4 | |

注: 同位素分析均在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成, 分析精度为2σ

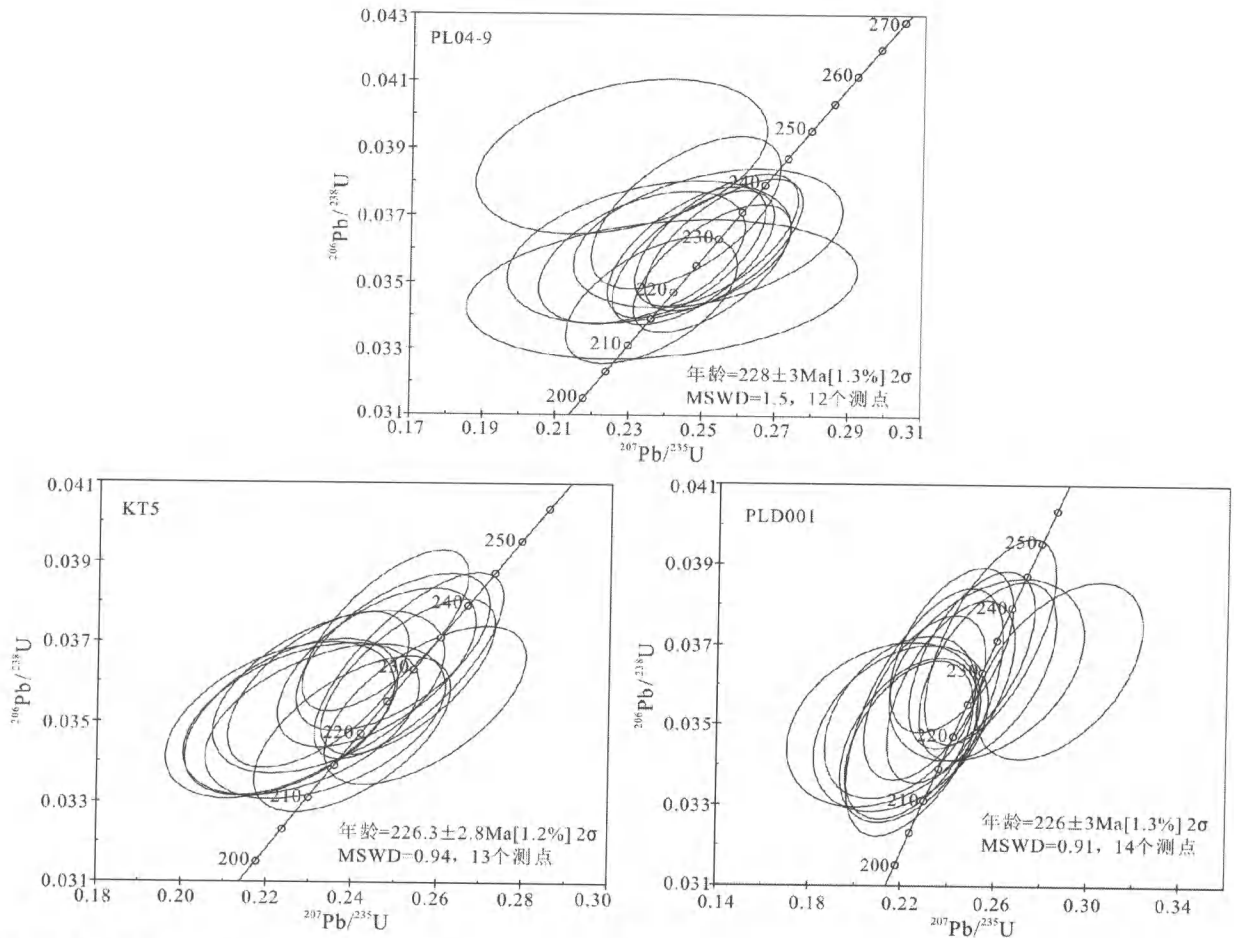


图3 普朗斑岩铜矿锆石 U-Pb 年龄谱和图解

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia age diagram of the PuLang porphyry copper deposit

子探针年龄,黑云母的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄和等时线年龄,辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄,推测普朗矿区的岩浆-热液系统持续时间可达 10Ma 以上,主成矿期可能为 216 ~ 214Ma 左右。

硫同位素研究表明,普朗斑岩铜矿硫化物(黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿)的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 变化范围为 $-2.23\text{‰} \sim +3.75\text{‰}$,基本呈塔式分布特征,主要为深源岩浆硫(王守旭等,2007b)。这暗示了矿区的岩浆-热液系统在至少 10Ma 左右的时间内保持了一个较为封闭的空间,亦即要求在含矿斑岩的顶部发育有利的封闭盖层。如前所述,普朗复式岩体具多次脉动侵入特征,其中,第一期石英闪长玢岩(局部为二长闪长玢岩)构成边缘相,约占 4/5;第二期石英二长斑岩和花岗闪长斑岩构成中心相,约占 1/5。据此判断第一期侵入的石英闪长玢岩可能构成了矿区岩浆-热液系统的有效封闭盖层。这种有效的封闭盖层对于普朗斑岩铜矿的成矿作用是非常有利的,其一可以阻止成矿流体散失;其二可以使岩浆-热液系统保持较长时限的高温状态,从而使岩浆流体对已定位的中心相斑岩进行强烈的蚀变作用并萃取其中的成矿元素。

普朗矿区的岩浆-热液系统之所以能够维持如此长的时间,可能主要与其所处的构造环境有关。甘孜-理塘洋盆

的俯冲活动,在中甸地区产生了北东向的主压应力场,诱发了一系列的北西走向的断裂活动和具被动侵入特征的岩浆活动,形成了大量的中酸性斑岩体。与岩浆活动相对应的是发生了印支期大规模的流体迁移活动和铜多金属成矿作用,形成了众多的矿床或矿点。除普朗岩体外,作者等同时还对位于普朗以北的与其同属东斑岩带的地苏嘎石英闪长玢岩进行了锆石离子探针 U-Pb 年龄分析,其年龄为 $232.7 \pm 3.2\text{Ma}$ (MSWD = 1.4; 作者等未发表资料),说明普朗-地苏嘎一线可能处于甘孜-理塘洋盆的俯冲前缘。这种有利的构造位置使其在有限的洋盆俯冲历史中较早发生了中酸性岩浆侵入活动。据林清茶等(2006)报道,西斑岩带雪鸡坪石英闪长玢岩的锆石离子探针 U-Pb 年龄为 $215.3 \pm 2.3\text{Ma}$ (MSWD = 3.95),说明雪鸡坪岩体比普朗岩体和地苏嘎岩体晚 13 ~ 17Ma,可能正是甘孜-理塘洋盆自东向西俯冲过程的反映。

侯增谦等(2001,2003,2004)通过对义敦古岛弧地区花岗岩侵入年龄的综合分析,认为义敦岛弧在 237 ~ 208Ma 之间发生了大规模的岛弧岩浆活动,高峰期约为 215Ma。峰期岩浆活动可能反映了区域主压应力场在同时或稍前时候达

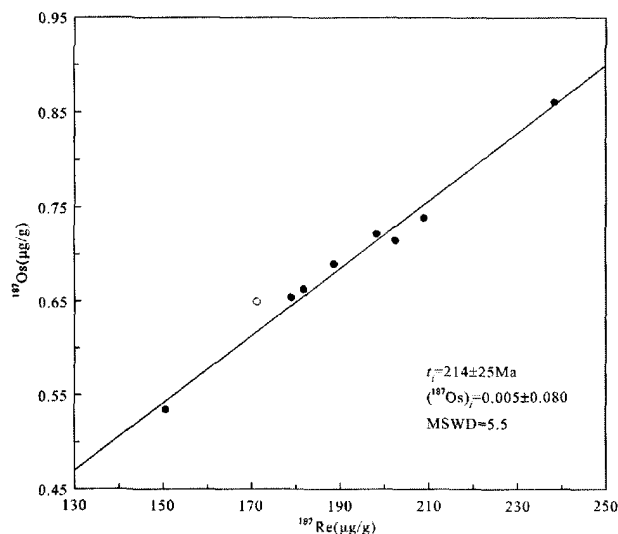


图4 普朗斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 等时线图解(空心圆点不参与等时线年龄计算)

Fig. 4 Re-Os isochron age of molybdenite from the Pulang porphyry copper deposit

到了最强。在中甸岛弧带,其主要影响可能有两方面:其一是产生了峰期岩浆侵入活动(例如雪鸡坪岩体);其二是导致了俯冲早期岩浆活动所形成的岩浆-热液系统的破裂,致使成矿物质快速结晶沉淀,形成了较大规模的印支期铜多金属矿化。因此,普朗矿区由俯冲早期阶段形成的岩浆-热液系统在破裂之前已维持了10Ma以上,如此之久的流体活动可能正是规模宏大的普朗斑岩铜矿得以形成的主要原因之一。

致谢 野外工作期间得到了云南地勘局第三地质大队杨朝志、范玉华、谭康华、张世权等高级工程师或工程师的指导和帮助,锆石 SHRIMP U-Pb 分析得到了中国地质科学院地质所宋彪、石玉若、张玉海、陶华等专家的指导和帮助,作者在此表示衷心的感谢。

References

- Cao DH, Wang AJ, Guan Y and Chen J. 2006. Position prediction of porphyry copper deposits in Zhongdian island arc based on fuzzy logic. *Mineral Deposits*, 25(2):199-205 (in Chinese with English abstract)
- Cao DH. 2007. Porphyry copper deposit model and exploration technique in Zhongdian, Yunnan. A dissertation submitted to Chinese Academy of Geological Science for doctoral degree (in Chinese with English abstract)
- Cherniak DJ, Hanchar JM and Watson EB. 1997. Diffusion of tetravalent cations in zircon. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 127: 383-390
- Cherniak DJ and Watson EB. 2001. Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology*, 172:5-24
- Fan YH and Li WC. 2006. Geological characteristics of the Pulang porphyry copper deposit, Yunnan. *Geology in China*, 33(2):352-361 (in Chinese with English abstract)
- Huang JG and Zhang LQ. 2005. The petrochemistry and tectonics of Late Triassic Tumugou formation in Zhongdian. *Yunnan Geology*, 24(2):186-191 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Qu XM, Zhou JR, Yang YQ, Huang DH, Lv QT, Tang SH, Yu JJ, Wang HP and Zhao JH. 2001. Collision-orogenic processes of the Yidun arc in the Sanjiang Region: Record of granites. *Acta Geologica Sinica*, 75(4):484-496 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Yang YQ, Wang HP, Qu XM, Huang DH, et al. 2003. Collision-orogenic progress and mineralization system of Yidun arc. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Hou ZQ, Yang YQ, Qu XM, Huang DH, Lv QT, Wang HP, Yu JJ and Tang SH. 2004. Tectonic evolution and mineralization systems of Yidun arc orogen in Sanjiang region, China. *Acta Geologica Sinica*, 78(1):109-118 (in Chinese with English abstract)
- Lee J, Williams I and Ellis D. 1997. Pb, U and Th diffusion in nature zircon. *Nature*, 390(13):159-162
- Li JK, Li WC, Wang DH, Lu YX, Yin GH and Xue SR. 2007. Re-Os dating for ore-forming event in the late of Yanshan Epoch and research of ore-forming regularity in Zhongdian Arc. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10):2415-2422 (in Chinese with English abstract)
- Li WC. 2007. The tectonic evolution of the Yidun island arc and the metallogenic model of the Pulang porphyry copper deposit, Yunnan, SW China. A dissertation submitted to China University of Geosciences for doctoral degree (in Chinese with English abstract)
- Ling QC, Xia B and Zhang YQ. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the syn-collisional Xuejiping quartz diorite porphyrite in Zhongdian, Yunnan, China, and its geological implications. *Geological Bulletin of China*, 25(1-2):133-135 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Li YQ, Wang LS and Wang YT. 2003. Approach to ore-forming conditions of ore fluid inclusions. *Mineral Deposits*, 22(1):13-23 (in Chinese with English abstract)
- Song B, Zhang YH, Wan YS and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Supp.):26-30 (in Chinese with English abstract)
- Tan KH, Li GJ, Huang DZ and Zhang SQ. 2005. The ore-controlling conditions of large scale Pulang porphyry copper deposit. *Yunnan Geology*, 24(2):167-174 (in Chinese with English abstract)
- Tan KH, Zhang SQ, Huang DZ, Li GJ and Meng Q. 2005. The alteration and metallogenesis of Pulang porphyry Cu deposit. *Yunnan Geology*, 26(3):271-276 (in Chinese with English abstract)
- Wang SX, Zhang XC, Qing CJ, Shi SH, Leng CB and Chen YJ. 2007a. Fluid inclusions in quartz veins of Pulang porphyry copper deposit, Zhongdian, northwestern Yunnan, China. *Geochimica*, 36(5):467-478 (in Chinese with English abstract)
- Wang SX, Zhang XC, Leng CB and Qing CJ. 2007b. A tentative study of ore geochemistry and ore-forming mechanism of Pulang porphyry copper deposit in Zhongdian, northwestern Yunnan. *Mineral Deposits*, 26(3):277-288 (in Chinese with English abstract)
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Zircon genesis mineralogy and its restriction for U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16):1589-1604 (in Chinese)
- Xie GQ, Hui RZ, Jiang GH and Zhao JH. 2001. Evaluation of the genesis of zircons and U-Pb isotopic dating. *Geology-Geochemistry*, 29(4):64-66 (in Chinese with English abstract)
- Xu XW, Chai XP, Qu WJ, Song BC, Qin KZ and Zhang BL. 2006. Later Cretaceous granitic porphyritic Cu-Mo mineralization system in the Hongshan Area, northwestern Yunnan and its Significances for tectonics. *Acta Geologica Sinica*, 80(9):1422-1433 (in Chinese with English abstract)
- Yang YQ, Hou ZQ, Huang DH and Qu XM. 2002. Collision orogenic

- process and metallogenic system in Zhongdian arc. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(1):17-24 (in Chinese with English abstract)
- Yin GH, Liu X, Deng ZX and Xiao L. 2005. An analysis of late Triassic sediment and basin of Wucun-Yishan area in Zhongdian, Yunnan. *Yunnan Geology*, 24(1):58-66 (in Chinese with English abstract)
- Yunnan Bureau of Geology and Resource. 1990. *Regional Geology of Yunnan Province*. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese)
- Zhao Z. 1995. Model of Indosinian porphyry Cu-Mo deposits in Zhongdian. *Yunnan Geology*, 14(4):342-348 (in Chinese)
- Zeng PS, Mo XX, Yu XH and Lu ZQ. 1999. Preliminary research on the intermediate acidic porphyries and their ore-bearing in Zhongdian area, Northwest Yunnan. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(supp.):359-366 (in Chinese)
- Zeng PS, Mo XX, Yu XH, Hou ZQ, Xu QD, Wang HP, Li H and Yang CZ. 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, Northwest Yunnan. *Mineral Deposits*, 20(4):393-400 (in Chinese with English abstract)
- Zeng PS, Wang HP, Mo XX, Yu XH, Li WC, Li TG, Li H and Yang CZ. 2004a. Tectonic setting and prospects of porphyry copper deposits in Zhongdian island arc belt. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(5):535-540 (in Chinese with English abstract)
- Zeng PS, Hou ZQ, Li LH, Qu WJ, Wang HP, Li WC, Meng YF and Yang ZS. 2004b. Age of the Pulang porphyry copper deposit in NW Yunnan and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 23(11):1127-1130 (in Chinese with English abstract)
- Zeng PS, Li WC, Wang HP and Li H. 2006. The Indosinian Pulang super large porphyry copper deposit in Yunnan, China: Petrology and chronology. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4):990-1000 (in Chinese with English abstract)
- Zhong YF and Ma CQ. 2006. A review of geochronology of U-bearing accessory minerals. *Advance in Earth Science*, 21(4):372-380 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ST and Feng QL. 2000. The Triassic melange sedimentation of Zhongdian area. *Yunnan Geology*, 19(1):1-6 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 曹殿华,王安建,管焯,陈江. 2006. 基于模糊逻辑的中甸岛弧斑岩型铜矿定位预测. *矿床地质*, 25(2):199-205
- 曹殿华. 2007. 中甸地区斑岩铜矿成矿模式与综合勘查评价技术研究. 中国地质科学院博士学位论文
- 范玉华,李文昌. 2006. 云南普朗斑岩铜矿床地质特征. *中国地质*, 33(2):352-361
- 黄建国,张留清. 2005. 中甸晚三叠世图姆沟组岩石化学和构造环境. *云南地质*, 24(2):186-191
- 侯增谦,曲晓明,周继荣,杨岳清,黄典豪,吕庆田,唐绍华,余今杰,王海平,赵金花. 2001. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程:花岗岩记录. *地质学报*, 75(4):484-496
- 侯增谦,杨岳清,王海平,曲晓明,黄典豪等. 2003. 三江义敦岛弧碰撞造山过程与成矿系统. 北京:地质出版社
- 侯增谦,杨岳清,曲晓明,黄典豪,吕庆田,王海平,余金杰,唐绍华. 2004. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统. *地质学报*, 78(1):109-118
- 李建康,李文昌,王登红,卢映详,尹光侯,薛顺荣. 2007. 中甸弧燕山晚期成矿事件的 Re-Os 定年及成矿规律研究. *岩石学报*, 23(10):2415-2422
- 李文昌. 2007. 义敦岛弧构造演化与普朗超大型斑岩铜矿成矿模型. 中国地质大学(北京)博士学位论文
- 林清茶,夏斌,张玉泉. 2006. 云南中甸地区雪鸡坪同碰撞石英闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. *地质通报*, 25(1-2):133-135
- 芮宗瑶,李荫清,王龙生,王义天. 2003. 从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件. *矿床地质*, 22(1):13-23
- 宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评(增刊)*, 48:26-30
- 谭康华,李光军,黄定柱,张世全. 2005. 普朗大型斑岩铜矿控矿条件. *云南地质*, 24(2):167-174
- 谭康华,张世全,黄定柱,李光军,孟青. 2007. 普朗斑岩铜矿蚀变及矿化特点. *云南地质*, 26(3):271-276
- 王守旭,张兴春,秦朝建,石少华,冷成彪,陈衍景. 2007a. 滇西北中甸普朗斑岩铜矿流体包裹体初步研究. *地球化学*, 36(5):467-478
- 王守旭,张兴春,冷成彪,秦朝建. 2007b. 滇西北中甸普朗斑岩铜矿床地球化学与成矿机理初探. *矿床地质*, 26(3):277-288
- 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
- 谢桂青,胡瑞忠,蒋国豪,赵军红. 2001. 锆石的成因和 U-Pb 同位素定年的某些进展. *地质地球化学*, 29(4):64-66
- 徐兴旺,蔡新平,屈文俊,宋保昌,秦克章,张宝林. 2006. 滇西北红山晚白垩世花岗岩斑岩型 Cu-Mo 成矿系统及其大地构造学意义. *地质学报*, 80(9):1422-1433
- 杨岳清,侯增谦,黄典豪,曲晓明. 2002. 中甸弧碰撞造山作用与岩浆成矿系统. *地球学报*, 23(1):17-24
- 尹光侯,刘星,邓志祥,肖玲. 2005. 云南中甸五村-移山晚三叠世沉积及盆地特征. *云南地质*, 24(1):58-66
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京:地质出版社
- 赵准. 1995. 中甸地区与印支期斑岩有关的铜钨矿床成矿模式. *云南地质*, 14(4):342-348
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠,卢振权. 1999. 滇西北中甸地区中酸性斑岩及其含矿性初步研究. *地球学报*, 20(增刊):359-336
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠,侯增谦,徐启东,王海平,李红,杨朝志. 2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿. *矿床地质*, 20(4):393-400
- 曾普胜,王海平,莫宣学,喻学惠,李文昌,李体刚,李红,杨朝志. 2004a. 中甸岛弧带构造格架及斑岩铜矿前景. *地球学报*, 25(5):535-540
- 曾普胜,侯增谦,李丽辉,屈文俊,王海平,李文昌,蒙义峰,杨竹森. 2004b. 滇西北普朗斑岩铜矿床成矿时代及其意义. *地质通报*, 23(11):1127-1130
- 曾普胜,李文昌,王海平,李红. 2006. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿:岩石学及年代学特征. *岩石学报*, 22(4):990-1000
- 钟玉芳,马昌前. 2006. 含 U 副矿物的地质年代学研究综述. *地球科学进展*, 21(4):372-380
- 张世涛,冯庆来. 2000. 中甸地区三叠系的沉积混杂作用. *云南地质*, 19(1):1-6