

滇西北中甸松诺含矿斑岩的锆石
SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义冷成彪^{1,2}, 张兴春¹, 王守旭^{1,2}, 秦朝建¹, 苟体忠^{1,2}, 王外全³

(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, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 云南省地质调查院矿产调查所, 云南 大理 671000)

摘要:位于义敦岛弧南端的中甸岛弧中广泛发育印支期斑岩及斑岩型和矽卡岩型铜矿床。松诺(或称松诺力赞)复式岩体位于东斑岩带中部,由石英闪长玢岩、黑云石英二长斑岩、闪长玢岩和含矿石英二长斑岩组成,其南部为普朗超大型斑岩铜矿床,北部为地苏嘎铜矿点。本文对含矿石英二长斑岩进行了岩相学和锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究,结果表明所有锆石颗粒自形较好且均发育规则的韵律环带, Th 含量为 180 ~ 854 $\mu\text{g/g}$, U 含量为 270 ~ 709 $\mu\text{g/g}$, Th/U 比值为 0.77 ~ 1.24, 为典型岩浆成因锆石。获得了含矿石英二长斑岩的侵位年龄为 $220.9 \pm 3.5 \text{ Ma}$ ($n=9$, MSWD = 1.6), 这与中甸岛弧洋壳俯冲造山作用的时限(210 ~ 235 Ma)相吻合。

关键词: 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 含矿石英二长斑岩; 松诺; 中甸县; 云南省

中图分类号: P597; P611 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2008)01-0124-07

0 引言

中甸岛弧是我国西南三江构造火成岩带中义敦岛弧的组成部分,位于义敦岛弧的最南端,其东部和南部是甘孜-理塘板块缝合带,西部是乡城-格咱深大断裂,该断裂向 SSE 方向延伸,与甘孜-理塘深大断裂相接,从而在南部封闭了中甸弧(杨岳清等,2002)。最近研究发现中甸岛弧已成为我国又一重要的斑岩型和矽卡岩型铜矿的产地,引起了国内外地质工作者的广泛关注(赵准,1995;曾普胜等,1999,2006;杨岳清等,2002;侯增谦等,2003,2004;谭康华等,2005;徐兴旺等,2006;范玉华和李文昌,2006;曹殿华等,2006;Hou *et al.*,2007;王守旭等,2007a,2007b;冷成彪等,2007)。近年来,国内学者对中甸地区的斑岩及其斑岩型和矽卡岩型铜矿

床进行了大量的年代学研究(曾普胜等,2003,2004a,2004b,2006;林清茶等,2006;徐兴旺等,2006),初步厘定了区内出露岩体的时空关系,将印支期岩体划分为东中西三个斑岩带(图 1a)。西斑岩带系指烂泥塘-雪鸡坪-春都-阿热一带,岩体分布较为集中,活动时限主要为 249 ~ 237 Ma(曾普胜等,2003,2004a)。中斑岩带位于高赤坪-红山-洛吉一带,隐伏岩体较多,多为石英二长斑岩和石英闪长玢岩,地表出露闪长玢岩,其中红山石英二长斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 214 Ma(云南地质矿产局,1990)。东斑岩带系指欠虽-地苏嘎-松诺-普朗一带及其以东地区,岩体分布较为分散,活动时限为 218 ~ 203 Ma(曾普胜等,2003,2004a)。需要说明的是,这些斑岩体普遍发生了区域变质和热液蚀变作用,从而给同位素定年工作带来困难,并且可

收稿日期:2007-03-20;改回日期:2007-08-09

基金项目:国家自然科学基金项目(40372049)、国家“973”项目课题(2002CB412605)资助。

第一作者简介:冷成彪(1982-),男,在读博士生,地球化学专业,研究方向:矿床地球化学, Email: lcb8207@163.com

通讯作者:张兴春,男,博士。专业方向:矿床地质及地球化学。Email: zhangxingchun@vip.gyig.ac.cn

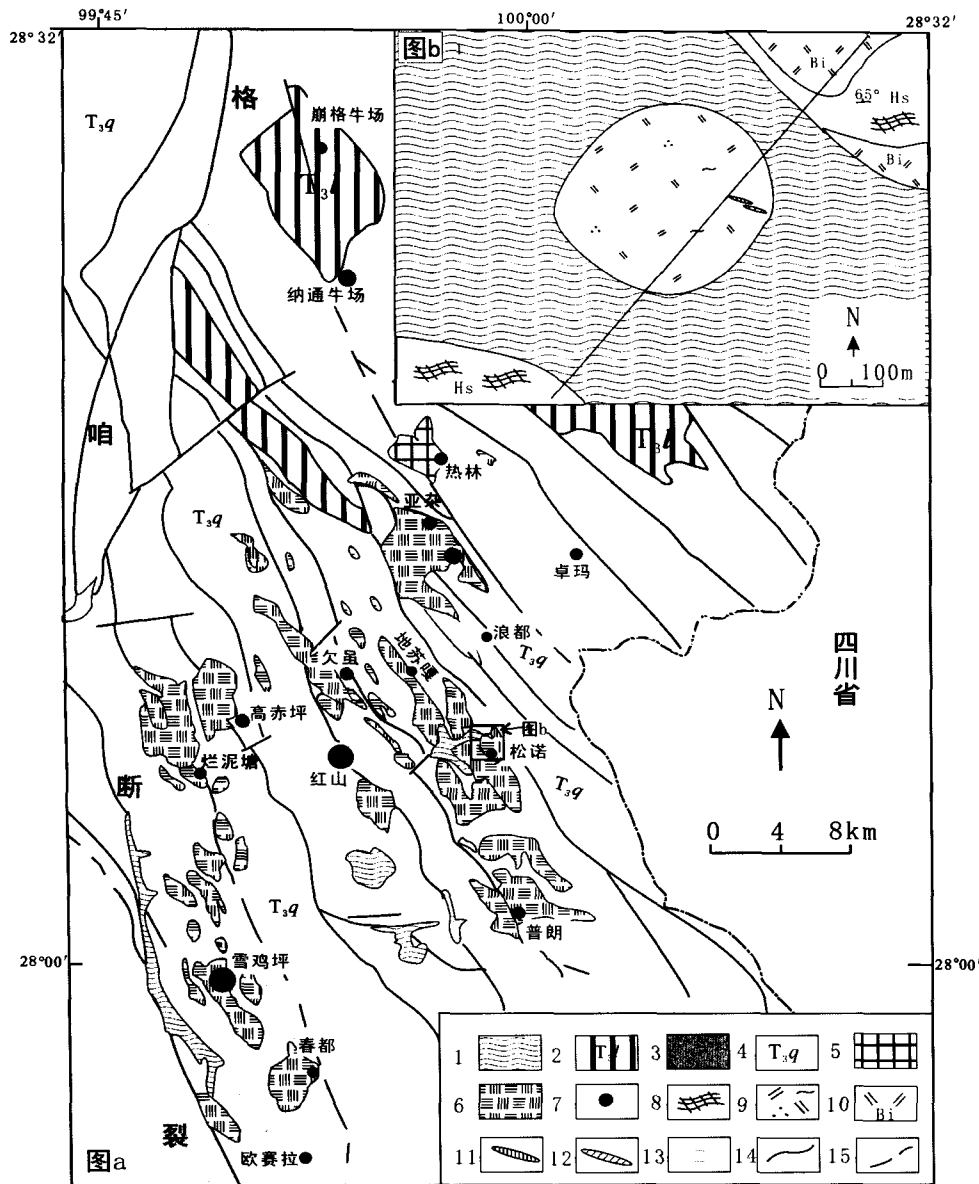


图 1 中甸岛弧区域地质图 (a) 与松诺岩体平面示意图 (b)

(据云南省地质调查院, 2004^① 和云南高山勘查开发有限公司, 2002^②, 简化)

1 - 第四系; 2 - 喇嘛垭组; 3 - 图姆沟组; 4 - 曲嘎寺组; 5 - 燕山晚期二长花岗岩; 6 - 印支期斑 (玢) 岩; 7 - 铜多金属矿床 (点); 8 - 角岩; 9 - 青盘岩化铜矿化石英二长斑岩; 10 - 黑云石英二长斑岩; 11 - 含铜磁铁矿砂岩; 12 - 铜矿化石英脉; 13 - 锆石采样点; 14 - 地层界线; 15 - 断层

Fig. 1 Regional geology of Zhongdian island arc belt (a) and plane sketch of the Songnuo porphyry complex (b) (modified from geological map of Yunnan Geological Survey, 2004 and Yunnan Gaoshan Exploration and Development Co. Ltd., 2002)

能造成了不同测年方法之间得到的年龄数据相差很大。由于 Rb-Sr 体系和 Ar-Ar 体系的封闭温度都相对较低, 往往反映的是后期热事件的年龄, 而锆石 U-Pb 体系的封闭温度通常大于 800℃, 能够很好的反映岩石的结晶年龄。而中甸岛弧东斑岩带现有的年龄数据中缺少锆石 U-Pb SHRIMP 年龄。松诺 (或

称松诺力赞) 复式岩体位于东斑岩带中部, 主要由石英闪长玢岩、黑云石英二长斑岩、闪长玢岩和含矿石英二长斑岩组成, 其南部为普朗超大型斑岩铜矿床, 北部为地苏嘎铜矿点, 本文对其进行了初步的岩相学研究, 为区域岩石对比提供了资料; 并利用高灵敏高分辨率离子探针质谱 (SHRIMP) 测定了含矿石

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.

② 云南高山勘查开发有限公司. 2002. 云南省中甸县松诺普查区 2001 年地质工作报告.

英二长斑岩中锆石的 U-Pb 年龄,从而为研究中甸岛弧带构造演化过程提供精确的年龄数据限制。

1 区域地质概况及岩石学特征

研究区位于中甸岛弧带东斑岩带的中部(图 1a),其南部为近年发现的普朗超大型斑岩铜矿床,北部为地苏嘎铜矿点。区域内出露地层主要为上三叠统图姆沟组(T_3t),岩性为深灰色含碳质板岩、粉砂质绢云板岩;安山岩、英安岩、流纹岩;安山质火山角砾岩、熔结集块岩和安山质晶屑凝灰岩。上三叠统曲嘎寺组(T_3q)主要分布于工作区北东部,岩性为深灰色板岩,变质砂岩、灰岩、玄武岩、玄武质火山角砾岩和硅质岩等。地层受轻度区域变质,并以厚度大,具有复理石韵律为特征。区域内构造线主要表现为被北西-南东向角度断层破坏的热轴向斜和黑水塘背斜构成,并出现一系列北西向剪切断裂及近东西向的张裂隙。区域内岩浆活动强烈而频繁,由西向东即由普朗河向黑水塘断裂以东出现中性-中酸性侵入岩。根据野外的产状,我们把松诺复式岩体划分为四期岩浆侵入活动,由老至新分别为:石英闪长玢岩、黑云石英二长斑岩、闪长玢岩和含矿石英二长斑岩。其中含矿石英二长斑岩侵入于黑云二长斑岩中(图 1b),为区域内最重要的含矿岩体,侵入时间最晚。

石英闪长玢岩:岩石呈浅灰绿色,细-中粒,斑状结构,块状构造。斑晶约占 30%~40%,其中斜长石占 20%~30%,具环带结构及卡纳复合双晶;角闪石占 5%~10%,多已绿泥石化;黑云母 1%~3%。基质占 60%~70%,主要由长石类、暗色矿物和少量石英组成。岩石具片理化,蚀变主要为绿泥石化和黄铁矿化。

黑云石英二长斑岩:岩石呈灰绿色,中-粗粒,似斑状结构,块状构造。斑晶主要为:正长石(约占 5%)、绢云母化中长石(15%~20%)、微斜长石(5%~10%)、石英(5%~10%)、黑云母(5%~10%)和角闪石(1%~3%)。榍石偶见。基质主要为:正长石(25%~30%)、石英(15%~20%)、更长石(10%~20%)和黑云母(5%~8%)。金属硫化物约占 3%~10%,主要为黄铁矿、少量磁铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等,铜矿化目前地表出露零星,仅局部强硅化时,偶见星点状黄铜矿。

闪长玢岩:分布于黑云石英二长斑岩中,以脉状或透镜状产出,脉宽 10~50m,长 20~100m。岩石

呈灰绿色,细-粗粒,斑状结构,块状构造。斑晶主要为:角闪石(20%)、斜长石(20%)和少量石英(3%);基质约占 55%,主要由隐晶质暗色矿物及斜长石、石英组成。黄铁矿占 1%(3%,多呈稀疏浸染状产出)。

含矿石英二长斑岩:侵入于黑云石英二长斑岩中,岩石呈灰绿色,细粒,斑状结构,块状构造。斑晶占 45%~50%,主要为正长石(约 5%)、斜长石(20%~25%)、石英(10%~15%)和少量角闪石(2%~4%);基质 40%~50%,主要由长石、石英及隐晶质暗色矿物组成。金属硫化物占 5%~10%,多呈细脉状、浸染状及宽脉浸染状产出。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、方铅矿、斑铜矿等。岩石具强硅化、绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化和磁铁矿化。该岩体为区域内最主要的含矿岩体。本文定年的锆石样品即采于该岩体中。

2 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

2.1 分选锆石

为尽量排除交叉混样,采用下列过程分选锆石:把 0.5kg 左右的样品粉碎成约 1cm^3 的小块,放入振动磨样机中研磨 5~8s 后取出。此过程反复进行到样品全部通过 0.3mm 孔径筛,洗去粉尘,经铝制淘砂盘富集重矿物,通过磁选、电磁选,剩下非电磁部分,再淘洗获得锆石精矿,最后在双目镜下挑出用于定年的锆石(夏斌等,2004)。锆石晶体较自形,无色透明,以复四方双锥居多,具有典型岩浆锆石的特点。

2.2 分析方法

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄是在中国地质科学院北京离子探针中心测定的。将样品锆石和标准锆石(TEM, 417 Ma)一起在玻璃板上用环氧树脂固定,抛光到暴露出锆石的中心面,用反光、透光和阴极发光(CL)照相,然后镀金,根据锆石的成因类型,确定要测定的点,测定时尽量避开裂纹和包裹体。详细的实验流程和原理参考 Compston *et al.* (1992)、Williams and Claesson(1987)和宋彪等(2002)的相关文献。仪器工作条件和分析方法详见刘敦一和简平(2004)和简平等(2003)的相关文献。应用 RSES 参考锆石 TEM 进行元素间的分馏校正, Pb/U 校正公式采用 $\text{Pb}/\text{U} = A (\text{UO}/\text{U})^2$ (Caoue-Long *et al.*, 1995)。应用 SL13 标样(年龄为 572 Ma; U 含量为 $238\mu\text{g}/\text{g}$)标定样品及 TEM 的 U、Th 和 Pb 含量。数

据处理采用 Ludwig Squid 1.0 及 Isoplot 程序 (Ludwig, 1999, 2001)。应用实测的 ^{204}Pb 校正锆石的普通 Pb。考虑到锆石中放射性成因 ^{207}Pb 比放射性成因 ^{206}Pb 的丰度低约 20 倍,使前者在测试中的精度较差,导致 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄往往不能反映岩体的真实年龄,因此,对放射性成因组分积累较少的年轻锆石而言, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄更能反映锆石的结晶时间,且不受 ^{207}Pb 的影响 (Compston *et al.*, 1992)。鉴于此,本文采用的年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄,其加权平均值为 95% 的置信度。

2.3 分析结果

样品中锆石的阴极发光图像如图 2 所示。这些锆石无论颗粒大小 (150 ~ 300 μm),均发育规则的韵律环带结构,反映了岩浆成因锆石的特点,需要说明的是,少数锆石颗粒的中心存在老核。本次研究对松诺含矿石英二长斑岩的定年锆石测定了 12 个点,每个点都打在锆石颗粒的中心。分析结果见表 1。锆石样品 Th 的含量为 180 ~ 854 $\mu\text{g}/\text{g}$, U 含量为 270

~ 709 $\mu\text{g}/\text{g}$, Th/U 比值为 0.77 ~ 1.24,具有典型岩浆锆石的 Th/U 比值 (Williams *et al.*, 1996; Hoskin and Black, 2000)。根据锆石的 SHRIMP U-Pb 测年结果,除去测点 2、7、8 我们获得了一组比较集中的表面年龄数据,变化范围为 211.1 ~ 226.3 Ma,在谐和曲线年龄图中 (图 3),这些数据点成群分布,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $220.9 \pm 3.5 \text{ Ma}$ ($n = 9$, MSWD = 1.6)。此外,测点 2、7、8 的表面年龄分别为 250.5 Ma、252 Ma 和 240.9 Ma,明显偏大,可能反映了锆石老核的年龄。

3 讨论

中甸岛弧作为义敦岛弧的组成部分,其结构及时空演化保持了义敦岛弧的共性 (侯增谦, 1991),即经历了洋壳俯冲造山作用、陆陆碰撞造山作用和陆内汇聚作用三个阶段 (侯增谦等, 2003; 杨岳清等, 2002)。杨岳清等 (2002) 认为中甸岛弧洋壳俯

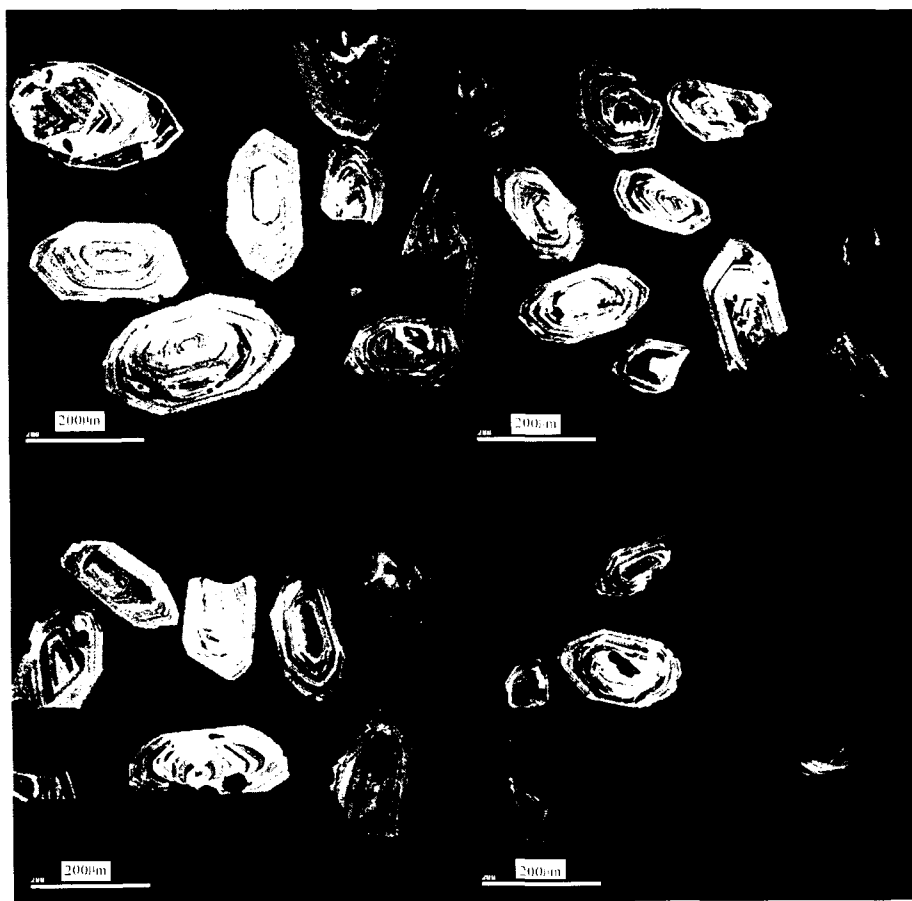


图 2 中甸地区松诺含矿石英二长斑岩锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence images of zircon grains from the Songnuo ore-bearing quartz monzonite porphyry, Zhongdian area

表 1 中甸地区松诺含矿石英二长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分析结果

Table 1 SHRIMP zircon U-Pb dating results of the Songnuo ore-bearing quartz monzonite porphyry, Zhongdian area

测点	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (%)	U ($\mu\text{g/g}$)	Th ($\mu\text{g/g}$)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$
1	1.21	299	264	0.91	9.29	226.6 ± 6.3	0.0486	8.2	0.240	8.7	0.0358	2.8
2	0.39	426	318	0.77	14.6	250.5 ± 5.7	0.0498	2.9	0.272	3.7	0.03963	2.3
3	5.84	377	360	0.99	11.4	211.0 ± 8.1	0.0613	14	0.281	14	0.0333	3.9
4	0.23	383	291	0.79	11.7	224.8 ± 5.0	0.0478	3.2	0.2339	3.9	0.03548	2.2
5	0.18	709	854	1.24	21.6	224.8 ± 4.8	0.0514	2.3	0.2514	3.2	0.03548	2.2
6	0.28	386	400	1.07	11.9	226.3 ± 5.1	0.0503	3.4	0.248	4.1	0.03572	2.3
7	0.63	466	455	1.01	16.0	252 ± 10	0.0455	4.5	0.250	6.1	0.0398	4.1
8	0.18	523	465	0.92	17.2	240.9 ± 5.2	0.0516	2.6	0.2708	3.4	0.03808	2.2
9	0.36	270	180	0.69	8.30	226.0 ± 5.7	0.0527	3.8	0.259	4.6	0.03568	2.6
10	0.91	272	229	0.87	7.89	212.2 ± 4.9	0.0449	6.0	0.207	6.4	0.03346	2.3
11	0.23	302	279	0.95	8.66	211.1 ± 4.8	0.0518	3.5	0.2378	4.2	0.03330	2.3
12	0.00	414	305	0.76	12.5	223.5 ± 4.9	0.0513	3.1	0.2497	3.8	0.03527	2.2

注:(1)误差为 1σ ; ^{206}Pb 为普通 ^{206}Pb 占总 Pb 的百分比, Pb^* 为放射性成因 Pb。(2)标准校正值的误差为 0.33%。(3)普通 Pb 用实测的 ^{204}Pb 校正。

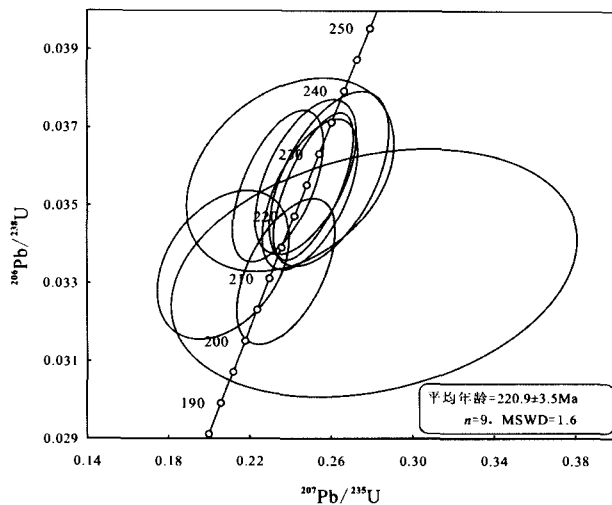


图 3 中甸地区松诺含矿石英二长斑岩锆石 SRIMP U-Pb 谱和曲线图

Fig. 3 Concordia plots of SHRIMP zircon U-Pb dating results for the Songnuo ore-bearing quartz monzonite porphyry, Zhongdian area

冲造山作用的时限为 210 ~ 235 Ma, 这与义敦岛弧的形成时限 (203 ~ 237 Ma) (侯增谦等, 2003) 基本吻合。

近年来, 国内学者对中甸地区印支期斑岩进行了大量的年代学研究 (曾普胜等, 2003, 2004a, 2004b, 2006; 林清茶等, 2006; 徐兴旺等, 2006), 初步厘定了区内出露岩体的时空关系。本文对位于中甸岛弧东部斑岩带中部的松诺含矿石英二长斑岩进行了精确的锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 笔者等认为 $220.9 \pm 3.5\text{Ma}$ 代表了松诺铜矿点含矿石英二长斑岩侵位结晶年龄, 这与甘孜 - 理塘洋壳俯冲造山作

用的时限 (203 ~ 237 Ma) 相一致, 印证了前人的观点。测点 2、7、8 的年龄数据 (240.9 ~ 252 Ma) 为锆石老核的年龄, 可能代表了较早一期岩浆活动事件或者是松诺地区早期结晶基底的年龄。根据现有的区域地质资料, 松诺复式岩体侵入的地层主要为上三叠统, 其年龄不应老于 230 Ma, 此外, 我们也没有找到含矿石英二长斑岩中俘获了早期岩体或地层的证据, 因此笔者倾向于后一种观点。由于所有锆石均发育韵律环带, 并且具有岩浆锆石的 U/Th 比值, 我们认为结晶基底中的锆石同样为岩浆锆石。

4 结 论

(1) 松诺复式岩体位于中甸岛弧东斑岩带中部, 由石英闪长玢岩、黑云石英二长斑岩、闪长玢岩和含矿石英二长斑岩组成。含矿石英二长斑岩中的锆石颗粒自形较好且发育规则的韵律环带, Th/U 比值为 0.77 ~ 1.24, 为典型岩浆成因锆石。

(2) 获得了含矿石英二长斑岩的侵位年龄为 $220.9 \pm 3.5\text{Ma}$, 这与中甸岛弧洋壳俯冲造山作用的时限 (210 ~ 235 Ma) 相吻合。

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高级工程师、曹晓明高级工程师及严治安等工程师的帮助; 锆石 SHRIMP U-Pb 分析得到了中国地质科学院北京离子探针中心刘敦一研究员、宋彪研究员、张玉海高级工程师和陶华工程师等同志的大力支持和帮助; 成文过程中得到了北京大学陈衍景教授、长安大学姜常义教授和李永军教授的热情指导; 广州地球化学研究所张玉泉研究员审阅了

本文,并提出许多中肯宝贵的意见。作者在此一并表示衷心的感谢。

参考文献 (References):

- 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.
- 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.
- 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.
- 侯增谦,杨岳清,王海平,曲晓明,黄典豪. 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, 1-345.
- 侯增谦. 1991. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化特征. 见:青藏高原地质文集. 北京:地质出版社, (21):153-165.
- 简平,刘敦一,孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年:古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约. *地质学报*, 77(2):217-228.
- 冷成彪,张兴春,王守旭,秦朝建,苟体忠. 2007. 云南中甸地区两个斑岩铜矿容矿斑岩的地球化学特征——以雪鸡坪和普朗斑岩铜矿床为例. *矿物学报*, 27(3-4):414-422.
- 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玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. *地质通报*, 25(1-2):133-135.
- 刘敦一,简平. 2004. 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质和退变质年龄 - SHRIMP 测年的证据. *地质学报*, 24(3):337-342.
- 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):167-173.
- 王守旭,张兴春,冷成彪,秦朝建. 2007a. 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.
- 王守旭,张兴春,秦朝建,石少华,冷成彪,陈衍景. 2007b. 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.
- 夏斌,刘红英,张玉泉. 2004. 攀西古裂谷钠质碱性岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义——以红格、白马和鸡街岩体为例. *大地构造与成矿学*, 28(2):149-154.
- 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 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.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南区域地质志. 北京:地质出版社, 415-427.
- 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床:岩石学及年代学特征. *岩石学报*, 22(4):989-1000.
- 赵准. 1995. 中甸地区与印支期斑岩有关的铜钼矿床成矿模式. *云南地质*, 14(4):342-348.
- Claoue-Long J C, Compston W, Roberts and Fanning C M. 1995. Two Carboniferous ages: A comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis. In: Berggren W A, Kent D V, Aubry M P and Hanlenbol J (eds). *Geochronology, time scales and global stratigraphic coelation*; SEPM special publication, 5(4):3-31.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, Zhang Z C and Ma G G. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. *Journal of Geological Society*, 149:171-184.
- Hoskin P W O and Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J Metamorphic Geol*, 18: 423-439.
- Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, Mo X X, Xu Q, Hu Y Z and Li X Z. 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S W China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types. *Ore Geology Reviews*, 31:48-87.
- Ludwig K R. 1999. Using Isoplot/EX, version 2, a geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication (1a), 47.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1.02. A user manual. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2:19.
- Williams I S, Buick A and Cartwright I. 1996. An extended of early episode Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynold region, central Australia. *J Metamorphic Geol*, 14: 29-47.
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappe, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contributions to Mineralogy Petrology*, 97: 205-217.

SHRIMP ZIRCON U-PB DATING OF THE SONGNUO ORE-HOSTED PORPHYRY, ZHONGDIAN, NORTHWEST YUNNAN, CHINA AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATION

LENG Chengbiao^{1,2}, ZHANG Xingchun¹, WANG Shouxu^{1,2},
QIN Chaojian¹, GOU Tizhong^{1,2} and WANG Waiquan³

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Mineral Resources Investigation, Yunnan Geological Survey, Dali 671000, Yunnan, China)

Abstract: There are lots of skarn and porphyry copper deposits associated with the Indosinian porphyry bodies in the Zhongdian arc, which is situated in the southern Yidun island arc. The Songnuo (or Songnuolizan) complex, which consists of quartz diorite porphyry, biotite quartz monzonite porphyry, diorite porphyry and ore-bearing quartz monzonite porphyry, is located in the central segment of the eastern Zhongdian porphyry belt. On the basis of the preliminary petrological study, the ore-hosting quartz monzonite porphyry of the Songnuo complex is dated by the zircon SHRIMP U-Pb method. The zircon grains are of typical magmatic origin, characterized by Th of 180 ~ 854 $\mu\text{g/g}$, U of 270 ~ 709 $\mu\text{g/g}$ and Th/U ratios of 0.77 ~ 1.24. The zircon SHRIMP U-Pb dating at 220.9 ± 3.5 Ma represents the emplacement age of the ore-hosting quartz monzonite porphyry. It coincides with the age of 210 ~ 235 Ma, an indicative of the subduction of oceanic crust in the Zhongdian arc.

Keywords: SHRIMP zircon U-Pb dating; ore-hosting quartz monzonite porphyry; Songnuo, Zhongdian, Yunnan

《大地构造与成矿学》关于参考文献和插图格式的说明

1 关于参考文献

1.1 本刊参考文献采用作者-出版年制,文内引用格式:单作者为(作者,出版年),双作者为(作者1和作者2,出版年),三个及以上作者为(作者1等,出版年)。

1.2 正文中引用的参考文献与正文后名录的参考文献必须一一对应,也就是说:在文中引用了的,必须在文后列出相应的参考文献;反过来,在文后名录的参考文献,必须是在正文中引用过的。

1.3 文后参考文献体例:

(1) 中英文参考文献分开排列,中文在前,英文在后。以作者姓氏的汉语拼音或第一个英文字母为序。

(2) 从2007年起,本刊不再采用中、英文对照的形式编排参考文献表。

(3) 多作者时应当列出全部作者名,不能以“等”字省略。书写外文作者或编者时,姓前名后,名用缩写,但不加缩写点。

(4) 所有文献必须列出析出页码,专著列出出版地。

2 关于插图

2.1 文中的插图需提供能编辑和修改的.cdr格式的图形文件(在Coreldraw软件中制作,并注明软件版本号);如果是照片或扫描的图片要提供分辨率在500dpi以上的.jpg或.tif格式的图形文件。

2.2 图件要求清晰、美观,线条粗细和文字大小要合适,曲线用圆滑曲线来表示,不能出现文字压线等现象;图中的字体要求:中文汉字用黑体(不必再加黑),数字和英文用Times New Roman字体(必须加黑)。

2.3 注意图中地层、岩体等代号的大小写、上下角标、正斜体的表示。

2.4 图中应尽量避免国界问题。

2.5 图件的说明依次应包括中文图名、图例说明与相应的英文图名。方框图例符号视具体情况可放在图内,也可放在图外,但方框右侧最好用数字代表,不要将说明文字直接写在图例旁。

2.6 文中全部插图除粘贴在word文档中之外,必须将其电子图形文件单独发来编辑部。