

文章编号: 1000-4734(2011)03-0315-07

滇西北中甸红山 Cu 多金属矿床花岗斑岩锆石
LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义王新松^{1,2} 毕献武^{1*} 冷成彪¹ 唐永永^{1,2} 兰江波¹ 齐有强¹ 沈能平¹

(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)

摘要: 红山 Cu 多金属矿床位于滇西北义敦岛弧南端的中甸岛弧, 一直以来被认为是印支期夕卡岩型矿床。但近年研究发现, 矿区内还发育有燕山晚期斑岩型 Cu-Mo 矿化作用。本文首次在中甸红山矿区发现了燕山晚期的花岗斑岩, 花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究确定其年龄为 (81.1 ± 0.5) Ma, 与斑岩型 Cu-Mo 矿化年龄 (77 ± 2) Ma 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄) 在误差范围内非常接近, 成岩与成矿作用之间具有密切的时空成因联系。红山 Cu 多金属矿床燕山晚期花岗斑岩成岩年龄与义敦岛弧造山后伸展环境下所形成的花岗岩浆成岩时代峰期 (80 Ma 左右) 相一致, 表明中甸红山地区除存在与俯冲作用密切相关的印支期 Cu 多金属成矿作用外, 还存在燕山晚期形成于造山后伸展环境的花岗斑岩型 Cu-Mo 成矿作用。

关键词: 锆石; LA-ICP-MS U-Pb 定年; 花岗斑岩; Cu 多金属矿床; 中甸红山; 云南

中图分类号: P597; P618.41 文献标识码: A

作者简介: 王新松, 男, 1986 年生, 在读硕士, 地球化学专业. E-mail: gyigxsw@hotmail.com

中甸岛弧是义敦岛弧的南延部分(如图 1a 所示), 为三江地区重要的斑岩型-夕卡岩型 Cu 多金属成矿带^[1-3]。红山 Cu 多金属矿床即位于中甸岛弧斑岩型-夕卡岩型 Cu 多金属成矿带内, 长期以来被认为是与中甸印支期岛弧花岗岩成矿作用相关的夕卡岩型 Cu 多金属矿床^[4-7]。近年来, 一些学者^[8-9] 在野外地质工作中发现红山矿区存在多种矿化类型, 主要包括夕卡岩型 Cu 多金属矿化、花岗斑岩型 Cu-Mo 矿化及相关的石英脉型 Cu-Mo 矿化。辉钼矿 Re-Os 定年发现斑岩型 Cu-Mo 成矿作用时代为 77 ± 2 Ma^[9], 表明除印支期成矿作用外, 该区还存在燕山晚期成矿作用, 具有较大成矿潜力。但由于燕山晚期成矿作用研究起步晚, 至今关于红山矿区燕山晚期成矿作用动力学背景及成矿机制研究十分薄弱, 制约了对区域成矿规律的认识和进一步的找矿勘探工作。本文对红山矿区与 Cu-Mo 成矿作用具有密切空间关系

的花岗斑岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究, 研究工作对深入认识该区成矿作用的动力学背景具有重要意义。

1 区域地质背景

红山 Cu 多金属矿床位于云南中甸县城北东 45 km 处。大地构造位置处于义敦岛弧南端的中甸岛弧, 其东部和南部为甘孜-理塘结合带, 与扬子板块相连; 西部是近南北向展布的乡城-格咱大断裂(图 1a、b)。中甸地区地层主要为三叠系的一套火山岛弧碎屑沉积岩建造, 岩性为砂板岩夹碳酸盐岩、硅质岩及玄武安山岩等, 从老到新依次划分为曲嘎寺组(T_3q)、图姆沟组(T_3t)、喇嘛哑组(T_3lm)。

中甸地区主要发育有 3 期花岗岩岩浆作用及相关的成矿作用, 分别为: 印支期岛弧型花岗岩浆成矿作用 (208 ~ 237 Ma), 岩性主要为闪长玢岩、石英闪长玢岩、石英二长斑岩等, 以普朗、雪鸡坪、烂泥塘等超大型-大型斑岩型 Cu 矿床为代表^[10-14]; 燕山晚期 A 型花岗岩浆成矿作用 (77 ~ 88 Ma), 岩性主要为黑云母二长花岗岩、二长花岗岩、花岗斑岩, 以休瓦促石英脉型 W-Mo 矿床、

收稿日期: 2011-04-01

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目群项目 (KZCX2-YW-Q04-01); 国家自然科学基金项目 (40873037); 矿床地球化学国家重点实验室自主创新项目

* 通讯作者, E-mail: bixianwu@vip.gyig.ac.cn

热林 Cu-Mo 多金属矿点为代表^[5,15];喜山期碱性斑岩成矿作用,以诺东、东炉房等斑岩型 Cu-Au 矿床为代表^[16]。

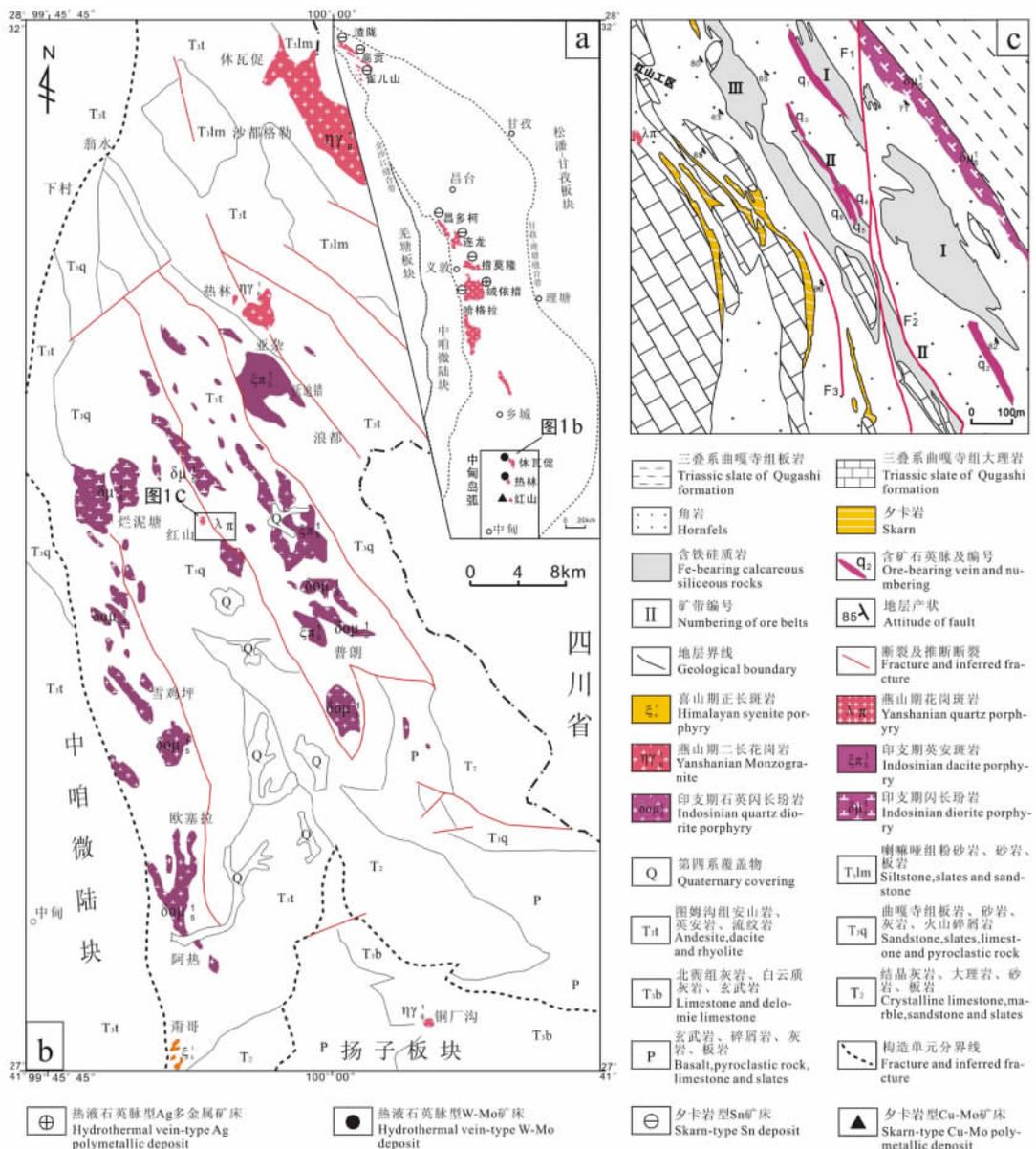
区内断裂构造发育,NW 向断裂规模较大,发育较早,与区域主构造线方向一致,多属逆断层;NE 向断裂规模较小,发育较晚,常错开 NW 向断裂。区内岩体及矿体分布明显受控于 NW 向断裂,与铜多金属成矿关系密切^[17]。

中甸岛弧的结构和时空演化保持了义敦岛弧的共性^[18],即晚三叠世中晚期,甘孜—理塘洋壳向德格—中甸微陆块俯冲,形成典型的沟—弧—盆

体系(208~237 Ma);晚三叠世末,甘孜—理塘洋盆闭合,发生弧—陆碰撞造山,以同碰撞花岗岩和造山隆起为标志(138~207 Ma);在碰撞造山后,义敦岛弧进入伸展阶段,以发育 A 型花岗岩为特征(65~135 Ma),直至喜马拉雅运动开始^[19-23]。

2 矿区地质概况

红山矿区出露地层主要为上三叠统曲嘎寺组二、三段(T_3q^{2-3})和图姆沟组二段(T_3t^2),总体为单斜构造,倾向 240° ,倾角 $60^\circ\sim 90^\circ$ (图1c)。矿区内零星出露有印支期闪长玢岩岩脉和石英二长



a. 义敦岛弧燕山晚期花岗岩岩体及相关矿床分布图以及中甸岛弧大地构造位置图(据文献[2]修编); b. 中甸岛弧区域地质图(据文献[16]修编); c. 红山 Cu 多金属矿床地质图(据文献[9]修编)

图1. 中甸岛弧地质图(a, b)和红山 Cu 多金属矿床地质图(c)

Fig. 1. Geological sketch map of Zhongdian arc (a, b) and Hongshan Cu-polymetallic deposit (c).

斑岩岩株, 岩体的全岩 Rb-Sr 模式年龄为 214 Ma^[24]; 矿区北部约 150 m 深处发现有隐伏石英二长斑岩-花岗岩岩枝, 其形态与规模尚未查清, 可能为深部隐伏大岩体的岩枝; 钻孔资料显示在矿区中部 II 矿带深部发育有细脉浸染状 Cu-Mo 矿化的花岗斑岩, 呈层状-透镜状, CK17-4 孔在 250 ~ 350 m 进尺中共穿过 11 层岩体, 最后一层视厚度约为 40 m; 前人对隐伏岩体上部 Cu-Mo 矿化石英脉中的辉钼矿进行了 Re-Os 定年, 等时线年龄为 (77±2) Ma, 显示红山矿区存在燕山晚期斑岩型 Cu-Mo 矿成矿作用^[9, 47]。

由于岩浆侵入, 矿区中部广泛发育夕卡岩化和角岩化, 构成一条长约 1.5 km, 宽约 0.8 km 的夕卡岩-角岩带。红山夕卡岩和角岩通常相间排列, 与地层产状基本一致。红山夕卡岩型铜矿赋存于曲嘎寺组二段地层的角岩带和夕卡岩中, 矿石矿物主要为黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿, 此外还有少量闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铋矿、白钨矿等。矿石构造主要有浸染状构造、斑点状构造、块状构造、脉状构造及条带状构造等; 矿石结构主要有粒状结构、交代结构、固溶体分解结构和海绵陨铁结构^[6]。

3 样品采集和分析方法

选择与 Cu-Mo 矿化作用密切相关的花岗斑岩样品(编号 HS10-03)进行单颗粒锆石分选。样品采于矿区西部花岗斑岩露头。花岗斑岩样品呈绢英岩化蚀变, 少量黄铜矿、黄铁矿呈浸染状分布在花岗斑岩中。采集样品 5 ~ 6 kg, 清洗烘干后, 按常规方法粉碎、重选和磁选后在双目镜下, 挑选

出透明干净、无裂纹、较自形的锆石用于制靶, 抛光后分别在透射光、反射光和阴极发光下照相, 以确定单颗粒锆石晶体形态和内部结构。单颗粒锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学(武汉)地质过程及矿产资源国家重点实验室 LA-ICP-MS 上采用标准测定程序进行, 详细的仪器操作条件和数据处理方法见文献 [25-26]。本次实验激光斑束半径为 32 μm, 测试点均避开裂纹和包裹体, 以获得较准确的年龄信息。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal^[25-26] 完成。年龄及谐和图的绘制采用 Ludwig^[27] 的 Isopot 完成。单个数据点的误差均为 1σ, 年龄采用 ²⁰⁶Pb/²⁰⁸U 年龄, 其加权平均值为 95% 的置信度。

4 分析结果

样品 HS10-03 中的锆石呈两端带锥面的四方柱状, 自形良好, 晶棱晶面清晰, 长轴在 80 ~ 240 μm 之间, 长宽比在 5:1 到 3:2 之间, 阴极发光图像如图 2 所示, 这些锆石均具有典型的韵律环带结构, 内部结构单一, 为岩浆成因锆石。本次研究对样品中 19 颗锆石进行了 U-Pb 同位素分析, 每颗锆石分析一个点, 各点均打在锆石核附近的环带中, 具体点位见图 2 所示, 共获得 19 个测点数据(表 1)。这些锆石的 ²³⁸U 含量为 732×10⁻⁶ ~ 2158×10⁻⁶, ²³²Th 含量为 257×10⁻⁶ ~ 1655×10⁻⁶, ²³²Th/²³⁸U 为 0.3 ~ 1.1, 也反映出岩浆锆石的特征^[28]。根据锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果, 除去点 1、7、15、18 后我们获得了一组比较集中的

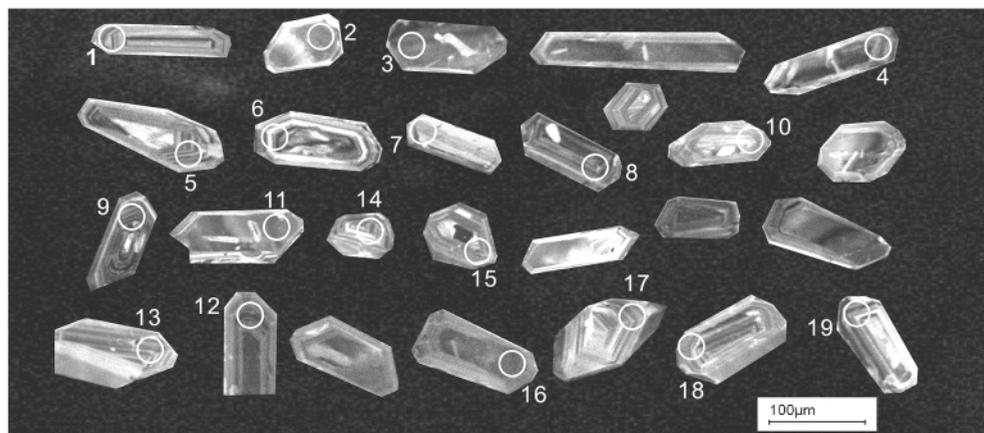


图 2 红山 Cu 多金属矿床花岗斑岩锆石阴极发光图像

Fig. 2. Cathodoluminescence images of zircon grains from granite porphyry.

from Hongshan Cu-polymetallic deposit.

表面年龄数据,变化范围为 80.4 ~ 81.8 Ma,在谐和曲线年龄图 3 中,这些数据点呈群分布,其 $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{U}$ 加权平均年龄为 $81.1 \pm 0.5 \text{ Ma}$ ($N = 15$, $\text{MSWD} = 0.34$)。所删除测点 1、7、15、18 的 $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{U}$ 表面年龄分别为 81.8、76.3、81.8、86.2 Ma,点 1 和 15 年龄虽然接近平均年龄,但是它们的 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄谐

和度均低于 85%,不能代表准确年龄故舍弃;点 7 年龄明显偏低,通过观察该点激光剥蚀过程的元素含量信号线与时间关系图,发现在信号收集 25 s 后便出现各信号线相交的情况,推测可能是锆石太薄,激光后来打在了环氧树脂上;而点 18 明显偏高,可能反映了有老核的存在。

表 1 红山 Cu 多金属矿床花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope dating results of granite porphyry from Hongshan Cu-polymetallic deposit

测点号	$w_B/10^{-6}$		同位素原子比率					
	^{232}Th	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
HS10-0301	478	1775	0.07195	0.00560	0.12659	0.01002	0.01277	0.00014
HS10-0302	902	856	0.04637	0.00192	0.08142	0.00359	0.01268	0.00016
HS10-0303	356	839	0.04897	0.00270	0.08474	0.00482	0.01251	0.00018
HS10-0304	381	1054	0.04928	0.00196	0.08572	0.00331	0.01263	0.00018
HS10-0305	620	1712	0.04664	0.00127	0.08150	0.00220	0.01264	0.00011
HS10-0306	1655	1780	0.05072	0.00168	0.08922	0.00280	0.01278	0.00016
HS10-0307	613	1257	0.04759	0.00159	0.07852	0.00275	0.01191	0.00012
HS10-0308	637	1730	0.04683	0.00123	0.08149	0.00219	0.01260	0.00012
HS10-0309	591	1506	0.04622	0.00121	0.08085	0.00220	0.01264	0.00012
HS10-0310	1031	1625	0.05061	0.00156	0.08778	0.00276	0.01255	0.00015
HS10-0311	478	1292	0.05674	0.00181	0.09808	0.00314	0.01252	0.00015
HS10-0312	978	1449	0.04922	0.00152	0.08655	0.00278	0.01272	0.00015
HS10-0313	346	740	0.04948	0.00283	0.08839	0.00613	0.01272	0.00023
HS10-0314	1319	1168	0.05470	0.00171	0.09602	0.00312	0.01271	0.00015
HS10-0315	408	1114	0.06052	0.00201	0.10740	0.00399	0.01277	0.00017
HS10-0316	1186	2158	0.04849	0.00153	0.08507	0.00270	0.01272	0.00014
HS10-0317	257	732	0.04758	0.00246	0.08379	0.00425	0.01281	0.00022
HS10-0318	294	768	0.04922	0.00277	0.09198	0.00548	0.01346	0.00016
HS10-0319	491	1570	0.05172	0.00165	0.09182	0.00330	0.01280	0.00018

测点号	表面年龄/Ma					
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
HS10-0301	984.9	163.9	121.0	9.0	81.8	0.9
HS10-0302	16.8	105.5	79.5	3.4	81.2	1.0
HS10-0303	146.4	160.2	82.6	4.5	80.2	1.2
HS10-0304	161.2	92.6	83.5	3.1	80.9	1.2
HS10-0305	31.6	63.0	79.6	2.1	81.0	0.7
HS10-0306	227.8	75.9	86.8	2.6	81.8	1.0
HS10-0307	79.7	87.0	76.8	2.6	76.3	0.8
HS10-0308	39.0	63.0	79.5	2.1	80.7	0.8
HS10-0309	9.4	68.5	78.9	2.1	81.0	0.8
HS10-0310	233.4	75.0	85.4	2.6	80.4	0.9
HS10-0311	479.7	70.4	95.0	2.9	80.2	0.9
HS10-0312	166.8	72.2	84.3	2.6	81.5	0.9
HS10-0313	172.3	133.3	86.0	5.7	81.5	1.5
HS10-0314	398.2	75.0	93.1	2.9	81.4	0.9
HS10-0315	620.4	75.0	103.6	3.7	81.8	1.1
HS10-0316	124.2	69.4	82.9	2.5	81.5	0.9
HS10-0317	79.7	118.5	81.7	4.0	82.0	1.4
HS10-0318	166.8	131.5	89.3	5.1	86.2	1.0
HS10-0319	272.3	74.1	89.2	3.1	82.0	1.1

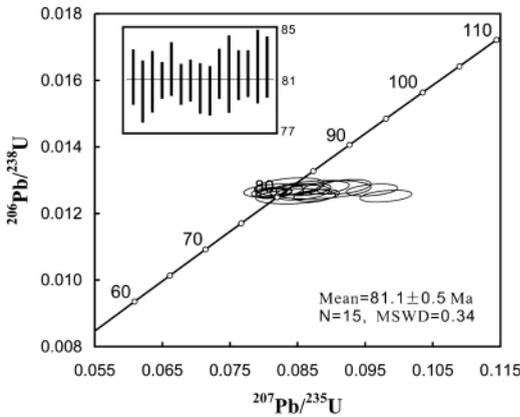


图 3 红山 Cu 多金属矿床花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3. LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of granite porphyry from Hongshan Cu-polymetallic deposit.

5 讨论与结论

5.1 红山 Cu 多金属矿床成岩成矿时代

矿床成岩成矿时代的精确厘定,是深入研究矿床的成矿物质来源、形成机制及动力学过程等问题的基础。前人在红山矿区内初步厘定出 2 期成岩成矿作用:①印支期夕卡岩型 Cu 多金属成矿作用^[1-7,17];②燕山晚期斑岩型 Cu-Mo 成矿作用^[9,16]。前者与印支期石英二长斑岩及闪长玢岩有密切的成因联系,但红山矿区是否存在燕山晚

期岩浆活动则不清楚。

锆石富含 Th 和 U,低普通 Pb,具有非常高的矿物稳定性,而且 Pb 的扩散封闭温度高达 900 °C,其是确定侵入体年龄的理想对象^[28-32]。本次所测花岗斑岩锆石样品的数据点均位于 U-Pb 谐和线附近,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,可代表与斑岩型 Cu-Mo 成矿作用具有密切空间关系的花岗斑岩成岩年龄。花岗斑岩岩体年龄为 81.1 ± 0.5 Ma,与斑岩型相关 Cu-Mo 矿化年龄(77 ± 2 Ma)在误差范围内非常接近,成矿年龄稍晚于成岩年龄,两者之间具有密切的时空联系。

5.2 红山 Cu 多金属矿床燕山晚期成岩成矿动力学背景

如前所述,义敦岛弧构造演化经历了俯冲造山作用(208 ~ 237 Ma)、碰撞造山作用(138 ~ 207 Ma)及造山后伸展作用(65 ~ 135 Ma)。中甸岛弧作为义敦岛弧南延部分,其构造时空演化与义敦岛弧基本一致。燕山晚期,义敦岛弧内发育有大量的花岗岩浆作用及成矿作用^[33-35],主要岩体及相关矿床的成岩成矿年龄如表 2 所示(矿床所在位置见图 1a)。

区域上与矿化有关的岩石类型主要为黑云母二长花岗岩、二长花岗岩和花岗斑岩;主要矿床及矿化类型有连龙夕卡岩型 Sn-Ag 多金属矿化、夏

表 2 义敦岛弧燕山晚期主要岩体及相关矿床成岩成矿年龄

Table 2. Ages of main Yanshan Epoch granite rocks and related deposits in Yidun arc

矿床	岩性	定年矿物	测年方法	同位素年龄/Ma	来源
渣陇	二长花岗岩	全岩	Rb-Sr 等时线年龄	103.7±6.4	文献[36]
高贡	钾长花岗岩	黑云母	K-Ar 等时线年龄	87	文献[37]
雀儿山	钾长花岗岩	锆石	U-Pb 年龄	88	文献[38]
昌多柯	钾长花岗岩	黑云母	K-Ar 等时线年龄	87	文献[39]
		钾长石	K-Ar 等时线年龄	93	文献[39]
连龙	黑云母二长花岗岩	全岩	Rb-Sr 等时线年龄	89.1±5.2	文献[36]
措莫隆	似斑状黑云二长花岗岩	黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	77 ~ 85	文献[40]
绒依措(夏塞)	似斑状二长花岗岩	黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	75.2±0.3	文献[36]
哈格拉	黑云母二长花岗岩	全岩	Rb-Sr 等时线年龄	77 ~ 81	文献[41]
		全岩	Rb-Sr 等时线年龄	88±3	文献[6]
休瓦促	含矿石英脉	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	86.7±2.1	文献[6]
		辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	88±1	文献[16]
热林	黑云母二长花岗岩	全岩	Rb-Sr 等时线年龄	80.4	文献[23]
		黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	82±0.9	文献[15]
	含矿石英脉	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	81.2±2.3	文献[16]
红山	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MSU-Pb 年龄	81.1±0.5	本文
	含矿石英脉	辉钼矿	Re-Os 等时线年龄	77±2	文献[9]

塞石英脉型 Ag 多金属矿化、休瓦促蚀变花岗岩型及石英脉型 W-Mo 矿化;成岩成矿年龄为 75 ~ 103 Ma, 峰期在 80 Ma 左右;前人对岩体地球化学性质研究表明,各岩体均富硅、富碱,低 Al_2O_3 、CaO、MgO,呈准铝质-弱过铝质,REE 呈“海鸥式”分布,并富集 Nb、Ta、Ga、Y,贫 Ba、Sr、Eu,属 A 型花岗岩,形成于板内造山后伸展环境^[20 23 36 42]。红山 Cu 多金属矿床所出露的花岗斑岩年龄为 81.1 ± 0.5 Ma,与义敦岛弧燕山晚期造山后伸展环境所形成的花岗岩浆活动峰期时间相一致,意味着红山矿区花岗斑岩岩浆作用及斑岩型 Cu-Mo 矿化作用形成于造山后伸展环境。因此,红山矿

区除存在与俯冲作用密切相关的印支期 Cu 多金属成矿作用外,还存在燕山晚期形成于造山后伸展环境的花岗斑岩型 Cu-Mo 成矿作用。

致谢:野外工作得到了云南华西矿业公司杨朝志工程师的帮助;云南省地调局尹光侯高级工程师提供了详细地质资料;锆石阴极发光照相工作得到了中国科学院地质与地球物理研究所扫描电镜实验室杨赛红实验员、杨顺虎同学的帮助;锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作得到了中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室胡兆初老师、林向洋、王晓红、王亮亮、龚红梅、陈剑波、阮骄杨、耿显雷等同学的帮助,在此向他们致以衷心的感谢。

参 考 文 献:

- [1] 曾普胜,莫宣学,喻学惠,等. 滇西北中甸斑岩及斑岩型铜矿[J]. 矿床地质, 2003, 22(4): 393-400.
- [2] Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, et al. Sanjiang Tethyan metallogenesis in SW China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types [J]. *Ore Geol*, 2007, 31: 48-87.
- [3] Li W C, Zeng P S, Hou Z Q, White N C. The Pulang porphyry copper deposit and associated felsic intrusions in Yunnan province, southwest China [J]. *Econ Geol*, 2011, 106: 79-92.
- [4] 曾普胜,王海平,莫宣学,等. 中甸岛弧带构造格架及斑岩铜矿前景[J]. 地球学报, 2004, 25(5): 535-540.
- [5] 杨岳清,侯增谦,黄典豪,曲晓明. 中甸岛弧碰撞造山作用及岩浆成矿系统[J]. 地球学报, 2002, 23(1): 17-24.
- [6] 侯增谦,杨岳清,王海平,等. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[M]. 北京:地质出版社, 2003: 170-183.
- [7] 侯增谦,杨岳清,曲晓明,等. 三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 109-119.
- [8] 宋保昌,蔡新平,徐兴旺,等. 云南中甸红山铜-多金属矿床新生代热泉喷流沉积型矿床[J]. 地质科学, 2006, 41(4): 700-710.
- [9] 徐兴旺,蔡新平,屈文俊,等. 滇西北红山晚白垩世花岗斑岩型 Cu-Mo 成矿系统及大地构造学意义[J]. 地质学报, 2006, 80(9): 1422-1433.
- [10] 曹殿华. 中甸地区斑岩铜矿成矿模式与综合勘探评价研究[D]. 北京:中国地质科学院, 博士学位论文, 2007.
- [11] 范玉华,李文昌. 云南普朗斑岩铜矿床地质特征[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 352-362.
- [12] 李文昌. 义敦岛弧构造演化与普朗超大型斑岩铜矿成矿模型[D]. 北京:中国地质大学(北京), 博士学位论文, 2007.
- [13] 冷成彪,张兴春,王守旭,等. 滇西北中甸松诺含矿斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1): 124-130.
- [14] 冷成彪. 滇西北雪鸡坪斑岩铜矿地质背景及矿床地球化学特征研究[D]. 北京:中国科学院研究生院博士学位论文, 2009.
- [15] 尹光侯,李文昌,蒋成兴,等. 中甸火山-岩浆弧燕山期热液复式岩体演化与 Ar-Ar 定年及铜铅矿化[J]. 地质与勘探, 2009, 45(4): 385-393.
- [16] 李建康,李文昌,王登红,等. 中甸燕山晚期成矿事件的 Re-Os 定年及成矿规律研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2415-2422.
- [17] 王守旭,张兴春,冷成彪,等. 中甸红山夕卡岩型铜矿稳定同位素特征及其对成矿过程的指示[J]. 岩石学报, 2008, 20(3): 480-488.
- [18] 侯增谦. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化特征[C]. 青藏高原文集, 1991, (21): 153-165.
- [19] 张世涛,冯庆来. 中甸地区三叠系的沉积混杂作用[J]. 云南地质, 2005, 19(1): 1-6.
- [20] 曲晓明,侯增谦,唐绍华. 义敦岛弧带弧后区内岩浆作用的成矿时代及意义[J]. 地球学报, 2003, 23(3): 223-228.
- [21] 尹光侯,刘星,邓志祥,等. 云南中甸五村-移山晚三叠世沉积及盆地特征[J]. 云南地质, 2005, 24(1): 58-66.
- [22] 黄建国,张留清. 中甸晚三叠世图姆沟组岩石化学和构造环境[J]. 云南地质, 2005, 24(2): 186-191.
- [23] 侯增谦,曲晓明,周继荣,等. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. 地质学报, 2001, 75(4): 484-497.
- [24] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1990.
- [25] Liu Y, Gao S, Hu Z, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51: 537-571.
- [26] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chem. Geol.*, 2008, 257: 34-43.
- [27] Ludwig K R. *ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel* [Z]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 1994-2017. China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

California, 2003.

- [28] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [29] Lee J, Williams I, Ellis D. Pb, U and Th diffusion in nature zircon [J], *Nature*, 1997, 390(13): 159-162.
- [30] Cherniak D J, Hancher J M, Watson E B. Diffusion of tetravalent cations in zircon [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1997, 127: 383-390.
- [31] Cherniak D J, Watson E B. Pb diffusion in zircon [J]. *Chem Geol*, 2001, 172: 5-24.
- [32] 钟玉芳, 马昌前. 含 U 副矿物的地质年代学研究综述[J]. 地球科学进展, 2006, 21(4): 372-382.
- [33] 张能德, 张怀举. 川西花岗岩类的地球化学特征[J]. 四川地质学报, 1988, 2: 15-21.
- [34] 费光春, 李佑国, 温春齐. 四川乡城-稻城地区花岗岩地球化学特征及构造背景探讨[J]. 矿物岩石, 2009, 29(2): 88-95.
- [35] 范晓. 四川巴塘县亥隆-措莫隆夕卡岩型锡多金属矿的矿床特征、成矿作用与矿化分带[J]. 四川地质学报, 2009, 29: 112-123.
- [36] Qu X M, Hou Z Q, Zhou S G. Geochemical and Nd, Sr isotopic study of the post-orogenic granites in the Yidun arc belt of northern Sanjiang region, Southwestern China [J]. *Res Geol* 2002, 52(2): 163-172.
- [37] 张能德. 川西白玉-中甸地区花岗岩类的形成时代探讨[J]. 中国区域地质, 1991, 2: 161-175.
- [38] 张能德. 川西白玉-稻城地区花岗岩类的年龄[J]. 四川地质学报, 1994, 14(2): 88-99.
- [39] 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [40] 管士平. 川西若洛隆-措莫隆复式花岗岩体岩石学及有关锡矿成矿的物理化学条件[J]. 特提斯地质, 1999, 23(23): 58-72.
- [41] 张能德, 张怀举. 四川西北部几个花岗岩体的时代[J]. 地球化学, 1993, 3: 303-312.
- [42] 曲晓明, 侯增谦, 周书贵, 唐绍华. 川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境[J]. 地球学报, 2002, 23(3): 223-228.

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Granite Porphyry in the Hongshan Cu-Polymetallic Deposit, Zhongdian, Northwest Yunnan, China and Its Geological Implication

WANG Xin-song^{1,2}, BI Xian-wu¹, LENG Cheng-biao¹, TANG Yong-yong^{1,2},
LAN Jiang-bo¹, QI You-qiang¹, SHEN Neng-ping¹

(1. State Key Laboratory of Ore Deposits Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550005, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Hongshan Cu-polymetallic deposit, which has long been considered as an Indosinian skarn-type Cu-polymetallic deposit, is located in Zhongdian arc, south of Yidun arc, northwest Yunnan, China. Recent researches show that there is late Yanshan Epoch porphyry Cu-Mo mineralization in Hongshan deposit area too. In this paper, late Yanshan Epoch granite porphyry in Hongshan deposit area was found for the first time. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the granite porphyry yields crystallization age of 81.1 ± 0.5 Ma, which is very close to a previously reported molybdenite Re-Os isochron age of porphyry Cu-Mo mineralization (77 ± 2 Ma). It means that there is a consistent spatial-temporal relationship between the granite porphyry and the porphyry Cu-Mo mineralization. The age of the late Yanshan Epoch magmatism (81.1 ± 0.5 Ma) in the Hongshan Cu-polymetallic deposit is consistent with the peak period (around 80 Ma) of the granites magmatism under post-orogenic extensional environment in Yidun arc. So it is suggested that there is not only Indosinian skarn-type Cu-polymetallic mineralization in Hongshan area, which is closely related to the subduction of oceanic crust, but also the late Yanshan Epoch porphyry Cu-Mo mineralization under post-orogenic extensional environment.

Key words: zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; granite porphyry; Hongshan Cu-polymetallic deposit; Zhongdian; Yunnan