

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

滇西北红山晚白垩世花岗斑岩型 Cu-Mo 成矿系统 及其大地构造学意义

徐兴旺¹⁾, 蔡新平¹⁾, 屈文俊²⁾, 宋保昌³⁾, 秦克章¹⁾, 张宝林¹⁾

1) 中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 北京, 100029

2) 国家地质实验测试中心, 北京, 100037; 3) 北京矿产地质研究院, 100012

内容提要: 红山铜多金属矿床位于滇西北中甸红山一带, 其一直被认为是印支期夕卡岩型矿床。新的研究结果表明红山矿区存在两个成矿系统: ①与印支期石英二长斑岩有关的夕卡岩型铜多金属成矿系统, 其典型矿床是与石榴子石夕卡岩伴生的含铜磁铁矿体与磁黄铁矿体; ②与花岗斑岩有关的斑岩型 Cu-Mo-Pb-Zn 成矿系统, 其包括地表喷溢沉积成因的含铁钙硅质岩、可能为流体通道相的 Cu-Mo 多金属石英网脉与大脉、充填于岩溶洞穴中的层状 Pb-Zn 矿体、花岗斑岩内部的浸染状 Cu-Mo 矿化、及岩体外接触带夕卡岩型多金属矿床。含矿石英脉 6 个辉钼矿样品 Re-Os 模式年龄介于 75.46~78.46 Ma 之间, 等时线年龄为 77 Ma, 红山矿区花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床形成时代为晚白垩世。红山矿区晚白垩世花岗斑岩及其伴生斑岩型 Cu-Mo 矿床和大规模流体活动是滇西地区晚白垩世区域构造-流体-成矿体系的一部分, 其形成与印度—亚洲大陆碰撞有关, 据此可推断印度—亚洲大陆的碰撞作用及其伴生的大规模成矿作用在 77 Ma 就已开始。红山矿区晚白垩世斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿系统的厘定对于斑岩型矿床成矿流体结构模型和区域成矿与构造学的研究具有重要的启示意义。

关键词: 花岗斑岩型; Cu-Mo 矿床; 成矿系统; 晚白垩世; 红山; 滇西北

滇西北中甸红山—雪鸡坪铜多金属矿带是我国“三江”地区重要的铜多金属矿带, 已有的资料认为该带中红山、雪鸡坪和春都等矿床是发育在岛弧带的斑岩铜矿和与斑岩有关的铜多金属矿, 矿床形成于印支期, 其中红山因发育较多的石榴子石夕卡岩而被归为夕卡岩型矿床(周维全等, 1976; 谭雪春等, 1985; 侯增谦等, 2003)。虽然前人在早期的红山矿床找矿勘探工作中注意到矿区深部发育花岗斑岩 Cu-Mo 矿化与含矿石英脉, 但未予深究(周维全等, 1976; 谭雪春等, 1985)。近年来, 我们对红山矿床开展了系统的野外地质调查, 结果发现红山矿床勘探报告中所描述的氧化带多为热泉沉积成因的含铁钙质硅质岩, 并发现了一个保存很好、结构清晰的喷口构造(宋保昌等, 2006), 发现一些具粒序构造、岩溶洞穴充填沉积成因的层状矿体。进一步研究显示这些含铁钙质硅质岩与含矿石英脉相连, 且这些含铁钙质硅质岩与含矿石英脉均为斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿系统成矿流体于不同构造部位沉淀的产物。本文在简要介绍红山矿区含铁钙质硅质岩特征基础

上, 报道含矿石英脉辉钼矿年龄与石英流体包裹体的研究成果, 构建红山矿区斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿流体系统的结构模型, 讨论红山矿区晚白垩世岩浆活动与成矿作用的区域成矿学与构造学意义。

1 区域地质背景

红山铜多金属矿床位于滇西北中甸地区, 位于金沙江古特提斯洋缝合带的东侧、位于扬子板块的西缘(图 1a)。中甸地区以发育印支期斑岩及伴生斑岩型 Cu 矿为特征, 被认为是义敦岛弧的南延部分、其成因与甘孜—理塘洋壳向西俯冲有关(杨岳清等, 2002; 侯增谦等, 2003)。区域上藏东—川西—滇西—滇东南沿金沙江古缝合带展布的喜马拉雅期碱性斑岩带及其伴生的斑岩型 Cu-Mo-Au 矿带从中甸地区通过(图 1a), 区内被确认的喜马拉雅期斑岩有甬哥正长斑岩(杨岳清等, 2002)和亚杂深灰色闪长玢岩(曾普胜等, 2003)。金沙江古缝合带西侧的兰坪盆地中发育大量晚白垩世—早第三纪的 Pb-Zn-Ag-Cu 多金属矿床, 典型矿床有兰坪 Pb-Zn 矿、金满 Cu 矿

注: 本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号 2002CB412605)与国家自然科学基金项目(编号 40572131、40272090)资助的成果。

收稿日期: 2006-07-01; 改回日期: 2006-08-03; 责任编辑: 郝梓国、刘志强。

作者简介: 徐兴旺, 男, 1966 年生, 博士。主要从事构造地质学、流体构造动力学与隐伏矿床定位预测研究。通讯地址: 100029, 北京市朝阳区北土城西路 19 号, 中国科学院地质与地球物理研究所; 电话: 010-62007331; Email: xuxw@mail.igcas.ac.cn。

和白秧坪 Ag 多金属矿(图 1a)。

2 矿区地质概况

红山矿床位于中甸县城北东,直距约 45km。矿区出露地层与岩石建造主要为上三叠统曲嘎寺组大

理岩与板岩、发育于大理岩与板岩之间的角岩与夕卡岩、闪长玢岩、石英脉与热泉沉积成因钙质硅质岩(图 1b)。板岩分布于矿区东北部,闪长玢岩呈脉状产出于板岩西侧,大理岩主体分布于矿区中西侧。

以大理岩、板岩和角岩构成的岩层倾向 240° ,

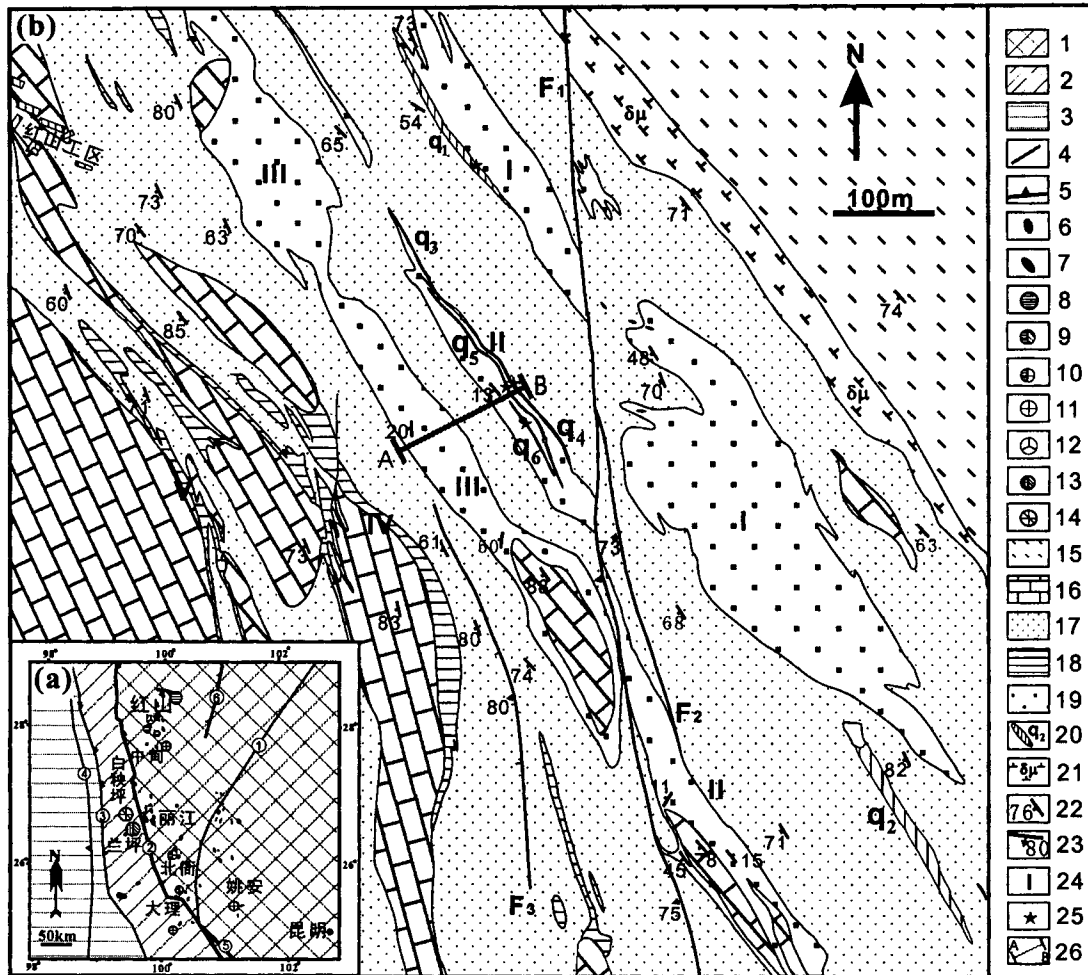


图 1 滇西北红山铜多金属矿床区域构造位置(a)与矿区地质图(b)(据云南省地质局第七地质队 1971 年提交的 1:1000 矿区地形地质图修编)

Fig. 1 Regional tectonic location (a) and geological map (b) of the Hongshan Cu-polymetallic district, northwestern Yunnan (The figure 1b is revised after the geological map of the Hongshan district in scale of 1:1000 finished by the 7 geological survey team of Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources in 1971)

①—龙门山断裂;②—金沙江缝合带;③—澜沧江缝合带;④—怒江缝合带;⑤—红河断裂带;⑥—甘孜—理塘缝合带。1—扬子板块;2—兰坪—思茅地块;3—保山地块;4—区域性断裂构造;5—缝合带构造;6—印支期斑岩;7—喜马拉雅期斑岩;8—斑岩型 Cu 矿;9—斑岩型 Cu-Mo 矿;10—斑岩型 Cu-Au 矿;11—斑岩型 Au 矿;12—铜多金属矿床;13—铅锌矿床;14—银多金属矿床;15—三叠系曲嘎寺组板岩;16—三叠系曲嘎寺组大理岩;17—角岩;18—夕卡岩;19—含铁钙质硅质岩;20—含矿石英脉与编号;21—闪长玢岩;22—地层产状;23—断层产状;24—矿带编号;25—辉钼矿采样位置;26—剖面 A-B 位置

①—Rongmenshan thrust fault; ②—Jinshajiang suture; ③—Langchangjiang suture; ④—Nujiang suture; ⑤—Red river shear zone; ⑥—Gangzi—Litang suture. 1—Yangzi plate; 2—Lanping—Shimao block; 3—Baoshan block; 4—regional fault; 5—suture; 6—Triassic porphyry; 7—Tertiary porphyry; 8—porphyritic Cu deposit; 9—porphyritic Cu-Mo deposit; 10—porphyritic Cu-Au deposit; 11—porphyritic Au deposit; 12—Cu-polymetallic deposit; 13—Pb-Zn deposit; 14—Ag-polymetallic deposit; 15—Triassic slate of Qugashi Formation; 16—Triassic marble of Qugashi Formation; 17—hornfels; 18—skarn; 19—Fe-bearing calcareous siliceous rocks; 20—Ore-bearing vein and numbering; 21—diioritic porphyry; 22—attitude of bedding; 23—attitude of fault; 24—numbering of ore belts; 25—location of molybdenite specimen; 26—location of profiles A-B in figure 2a

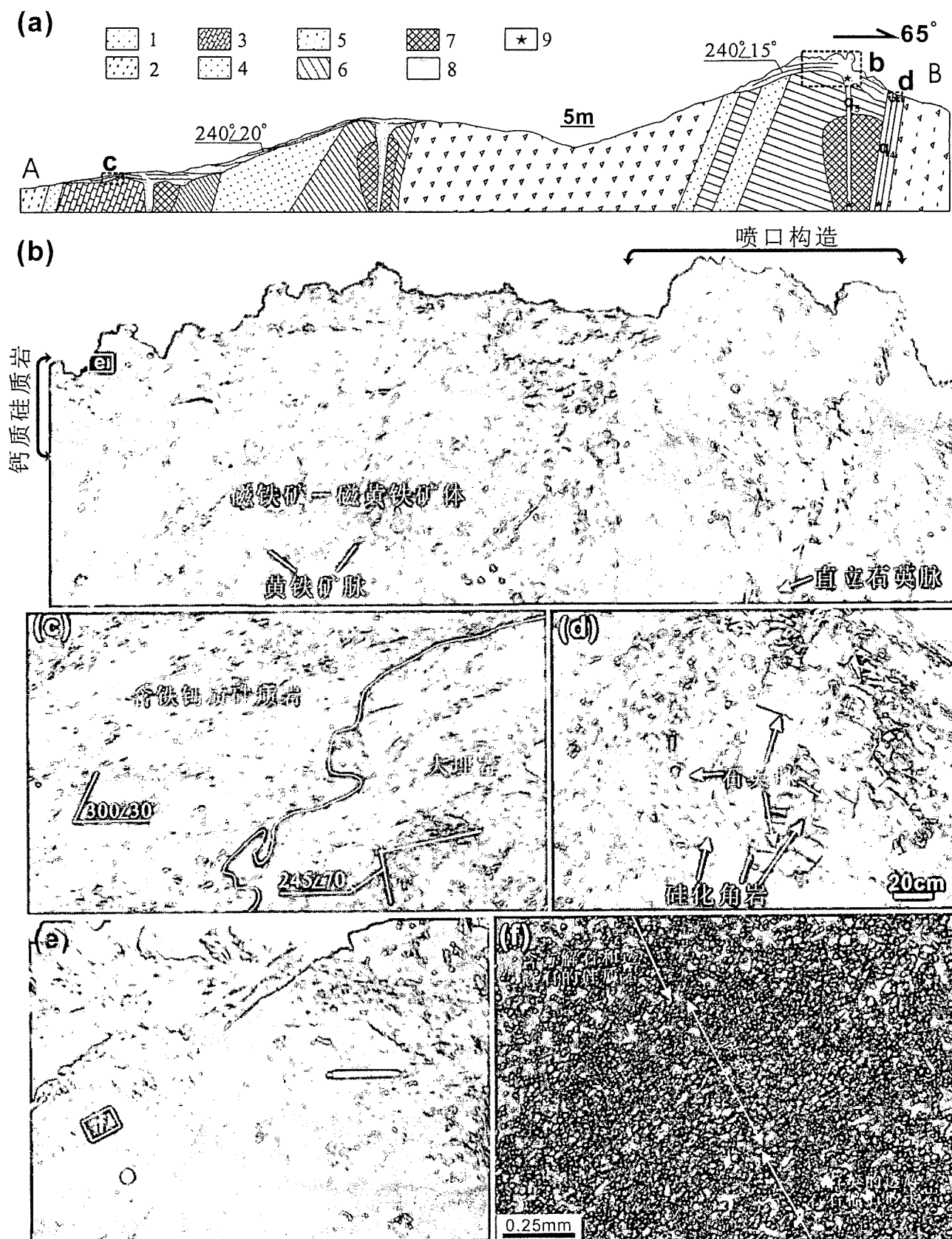


图 2 剖面 A-B 地质图(a)与局部放大的微观照片(b,c,d,e 与 f)

Fig. 2 Geological profile A-B (location shown in Fig. 1) (a) and local enlarging photographs (b, c, d, e and f)

(a)、(b)—热泉喷流沉积作用的喷口构造、通道石英脉、含铁钙质硅质岩及其与磁铁矿-磁黄铁矿体的接触关系;(c)—缓倾含铁的钙质硅质岩与陡倾灰岩的不整合接触关系,灰色大理岩中无矿化蚀变;(d)—石英脉及其中硅化地层残留体;(e)—示钙质硅质岩的纹层状层理构造;(f)—微观层理构造。1—含铁钙质硅质岩;2—角岩;3—大理岩;4—石榴石夕卡岩;5—硅化角岩;6—含铜磁铁矿-磁黄铁矿体;7—富铜磁铁矿-磁黄铁矿体;8—石英脉;9—辉钼矿采样位置

(a),(b)—Showing vent structure, channel quartz vein, calcareous siliceous rocks and their contact relation to magnetite and pyrrhotite bodies; (c)—showing that the vertical marble were unconformably overlain by the slower angle brown Fe-polymetal-bearing calcareous siliceous rocks, there are not any alteration and mineralization in these marble; (d)—showing attitude of quartz vein and some silicated relicts; (e)—showing laminar bedding structure of calcareous siliceous rocks; (f)—showing bedding structure in a thinner section. 1—Fe-bearing calcareous siliceous rocks; 2—hornfels; 3—marble; 4—garnet skarn; 5—siliceous hornfels; 6—Cu-bearing magnetite and pyrrhotite ore body; 7—Cu-rich magnetite and pyrrhotite ore body; 8—quartz vein; 9—location of molybdenite specimen

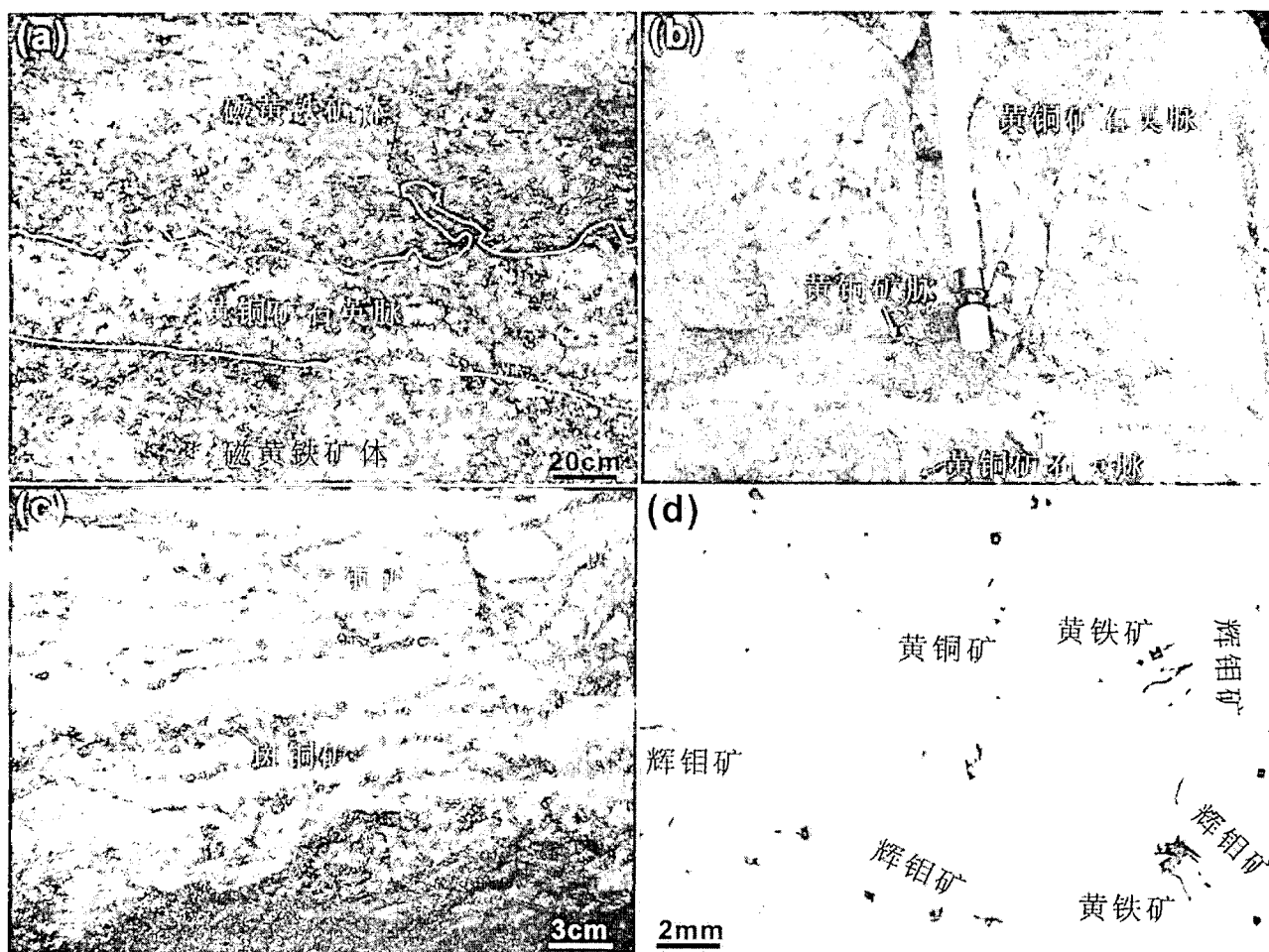


图3 红山铜多金属矿床黄铜矿石英脉(a,b)与石英脉中硫化物分布(c,d)

Fig. 3 Photographs showing quartz veins with Chalcopyrite (a and b) and distribution of sulfide in quartz vein (c and d) in the Hongshan Cu-polymetallic deposit

(a)—磁黄铁矿体中的黄铜矿石英脉,块状黄铜矿呈脉状分布于石英脉与磁黄铁矿体间的接触带、及石英脉内部;(b)—透辉石夕卡岩中黄铜矿石英网脉与黄铜矿细脉;(c)—石英脉内部的黄铜矿与斑铜矿细网脉;(d)—薄片尺度脉石英中的黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿的分布特征
(a)—Chalcopyrite quartz vein in pyrrhotite ore body, some massive chalcopyrite veins are presented within quartz vein and along contact zones between the quartz vein and country pyrrhotite ore; (b)—chalcopyrite quartz veins and chalcopyrite veins in diopside skarn; (c)—chalcopyrite and bornite networks in quartz vein; (d)—distribution of pyrite, chalcopyrite and molybdenite in quartz

倾角 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 为一单斜构造。矿区西部发育 3 个长轴小于 30 m 的不规则椭圆状石英二长斑岩岩株, 岩体年龄约为 216Ma (全岩 Rb-Sr 等时线年龄) (云南省地质矿产局, 1990); 在矿区中部 II 矿带深部发

育有含辉钼矿的花岗斑岩、呈层状-透镜状, CK17-4 孔在 250~350 m 的进尺中共穿过 11 层岩体, 最后一层其视厚度约为 40 m。矿区中部广泛发育夕卡岩化和角岩化, 构成一个长约 1.5 km、宽约 0.8 km 的

夕卡岩、角岩带;角岩带产状与地层基本一致;以富含石榴子石为特征的石榴子石夕卡岩呈不规则脉状,沿大理岩接触带分布,或直接产出于角岩中,部分段落沿大理岩接触带分布,而部分段落又偏离接触带,可能为远程成因夕卡岩(云南省地质局第七地质队,1971)。矿区内断裂主要为 NNW 方向,为逆冲走滑断裂。

红山矿床为 Cu-Pb-Zn-Mo-W 多金属矿床,云南省地质局第七地质队 1971 年提交的红山矿区勘探报告提交铜表内储量 23.193 万吨、铅 11086t、锌 14176t、钼 5759t、钨 193t。矿区大小矿体 20 余个,分布于矿区中部的 I、II、III、IV 和 V 5 个矿带中(图 1b)。

矿石中金属硫化物主要为黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿,此外有少量闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铋矿、白钨矿等。矿石类型以块状为主(侯增谦等,2003)。我们在野外考察过程中还发现一些具韵律结构、粒序层理的条带状、纹层状矿石。

3 含铁钙质硅质岩与含矿石英脉特征

含铁钙质硅质岩为一套含褐铁矿、透辉石和方解石的硅质岩,岩石因含褐铁矿而呈土褐色;岩层主要分布于 I、II 和 III 矿带一带,与产状陡立的石英脉密切共生。钙质硅质岩产状总体较平缓,不整合分布于产状陡立的大理岩、角岩、夕卡岩和磁铁矿-磁黄铁矿体之上,与下伏大理岩、夕卡岩和磁铁矿-磁黄铁矿体之间界线截然,且其下伏的磁铁矿-磁黄铁矿体岩石矿物新鲜(图 2a,b 与 c);由纹层状含方解石和透辉石的硅质岩、石英透辉石岩组成,层理构造清楚,岩性层厚度非常薄、有的不足 1 mm,矿物粒度细小,为微晶质,石英透辉石岩中褐铁矿含量相对较多(图 2e 与 f);有的层位岩石中褐铁矿含量较高,可达 20%,相应的含铜钼也高,其中 Cu 0.20%~0.58%、Mo 0.005%~0.01%。

矿区石英脉地表呈北西向展布,延伸方向与地层走向一致,产状较陡,斜切地层层理;脉体大小不一,大者宽 0.20~2 m、长 10 余米至 400 多米,其中长度大于 100 m 的石英脉有 6 条(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 与 q_6)(图 1b);有些厚大石英脉内见有围岩地层的残留体(图 2d);石英脉中含有浸染状的黄铁矿、辉铋矿和黄铜矿等硫化物以及褐铁矿和黄钾铁矾等氧化物(图 2d)。石英脉往深部变细、变窄,以细脉和细网脉为主(图 3a 与 b);块状黄铜矿和斑铜矿体呈脉状或细网脉状分布于石英脉与围岩的接触带或石英脉

中(图 3a,b 与 c),是红山铜多金属矿床富铜矿体的主要矿石类型。黄铜矿和斑铜矿脉与石英脉紧密共生,并随石英脉一起穿切磁黄铁矿矿体和夕卡岩等,表明红山矿区富铜矿体的形成晚于夕卡岩,其成因与石英脉有关。

这些石英脉在近地表与钙质硅质岩相连,两者分别为构成富 SiO_2 流体活动产物的通道相与喷出相。我们在剖面 A-B(图 2a)观察到一个石英脉与钙质硅质岩相连与过渡的构造(图 2b)。该构造可能是古流体喷涌的一个喷口构造,由一系列剖面呈扇状分布的向下与近直立通道相石英脉相连、向上与硅质岩相连并渐变过渡或穿切硅质岩的石英脉系组成。这些石英脉系宽 20~30 cm,由中心向外侧石英脉弯曲程度增加,最外侧脉体弯曲呈近圆弧状。石英脉在近地表的分叉与分支可能与流体的喷流沉积和喷流通道的演化有关,而红山矿区的钙质硅质岩本质上可能就是一种含铁的钙质硅华。

4 含矿石英脉流体包裹体特征及其成因意义

红山铜多金属矿区含矿石英脉其石英粒度细小,微观上呈不规则粒状和透镜状分布;其中透镜状石英颗粒粒度较大,长 1~1.4 mm、宽 0.4~0.6 mm,其长轴平行于石英脉与石英脉中硫化物细脉定向排列;粒状石英粒度一般小于 $400\mu\text{m}$,颗粒形态与边界不规则;无论是粒状还是透镜状石英,其外形多呈港湾状(图 4a)。石英颗粒港湾状外形的形成可能与后期流体的溶蚀有关。

含矿石英脉流体包裹体发育,主要分布于透镜状石英颗粒及粒度相对大一些的粒状石英颗粒中。流体包裹体类型按成因分有原生包裹体和次生包裹体,按组成分有气体包裹体、液体包裹体、气液两相包裹体、及由气体、液体和含盐子矿物构成的多相包裹体。包裹体大小一般 $6\sim 20\mu\text{m}$,个别可达 $50\mu\text{m}$ 。其中次生包裹体多呈线状和带状定向排列,包裹体类型为气液包裹体(图 4a 与 b);原生包裹体类型多样,在颗粒中较均匀随机分布(图 4c)。原生包裹体中气体包裹体、液体包裹体、气液包裹体和多相包裹体共生现象(图 4c)说明这些流体为沸腾流体,即形成石英脉的原生流体为沸腾流体。值得指出的是,一些透镜状石英中次生气液包裹体呈弧形带状分布,包裹体带垂直于石英长轴方向展布(图 4a),单个包裹体呈椭圆状定向排列、且其长轴方向平行于载体石英颗粒的长轴方向而垂直于包裹体带的展布方向

(图 4d), 包裹体带的弯曲和包裹体的压扁与定向等特征可能意味着气液包裹体是沿垂直于石英颗粒长轴近水平的破裂进入的、且形成与定位后还受到垂直于石英颗粒长轴方向的挤压作用, 即石英颗粒及其中流体包裹体形成过程曾经历了多次流体构造应力作用与构造作用。

这些流体包裹体的均一温度介于 $250\sim 410^{\circ}\text{C}$, 峰值 $310\sim 320^{\circ}\text{C}$ (图 5)。其中, 椭圆状次生气液包裹体的均一温度相对较低, 介于 $250\sim 320^{\circ}\text{C}$ 之间; 含子矿物多相包裹体的均一温度分布范围较集中, 介于 $310\sim 330^{\circ}\text{C}$ 之间; 气液包裹体中气体含量比率高的 (气体/液体 $>40\%$) 其均一温度较高, 介于 $350\sim 402^{\circ}\text{C}$ 之间。

原生包裹体均为含盐包裹体, 其中多相包裹体

的盐度介于 $29\%\sim 36\%$ 之间, 气液包裹体的盐度介于 $4.5\%\sim 12.5\%$ 之间。次生椭圆状包裹体盐度低, 一般小于 1。原生包裹体其盐度与温度值的投点分布于斑岩型矿床包裹体温度-盐度相关图的分布区或其附近 (图 6)。

流体包裹体的化学成分与同位素分析结果 (表 1) 表明: ① 流体包裹体的气相成分以 H_2O 为主, 含量达 95% , 含少量 CO_2 和 CH_4 , 即流体为含少量 CO_2 和 CH_4 的水溶液流体; ② 流体富含阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 F^- , 富含阳离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} ; ③ 样品 HS042-1 与样品 HS043-4 的硅酸盐 (SiO_2) 氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$) 分别为 10.47% 与 11.92% , 若按平均均一温度为 320°C 计算, 则对应的流体水的氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$) 分别为 3.76% 与 5.20% ; ④ 样品 HS042-1

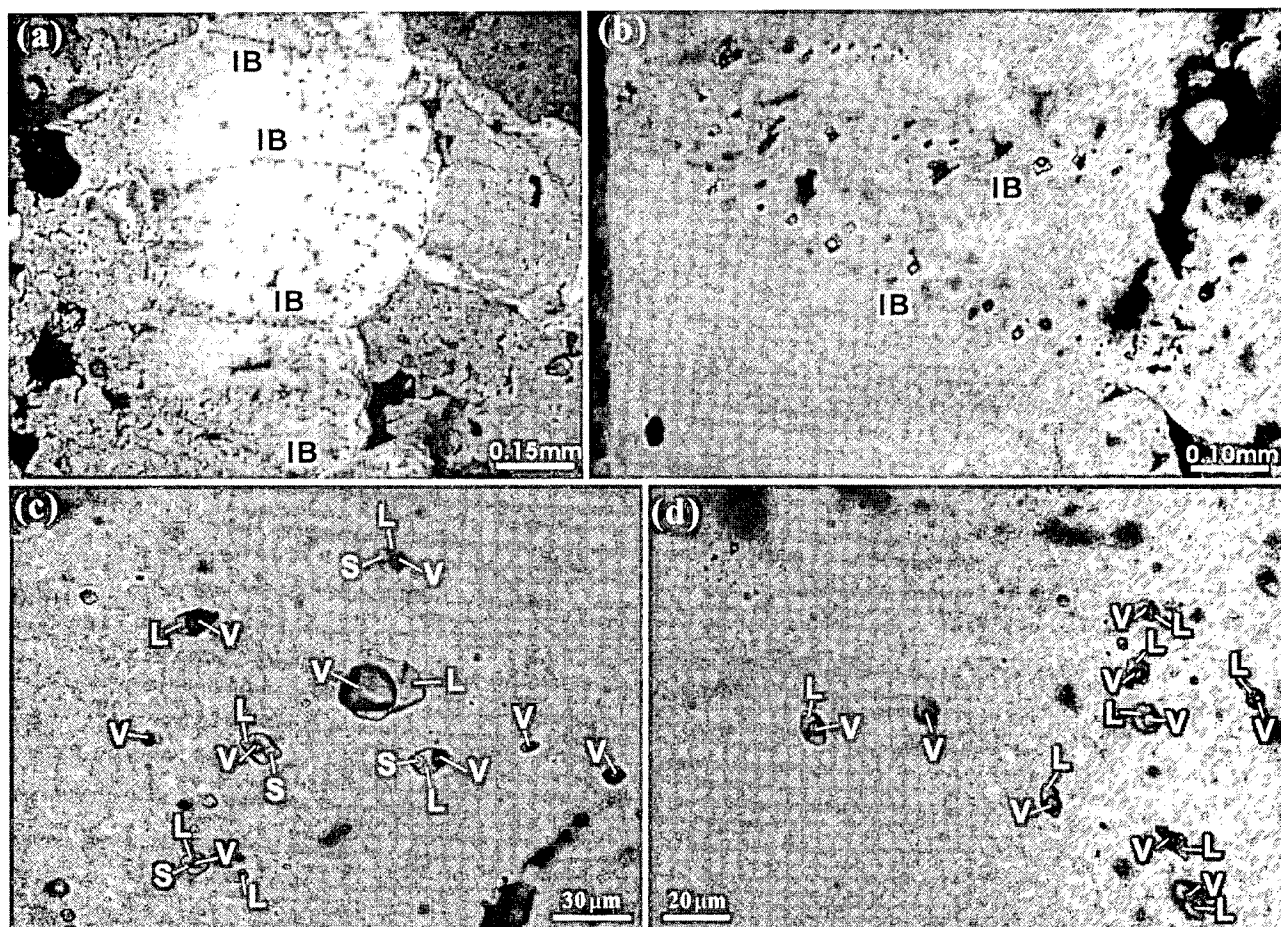


图 4 红山矿区含矿石英脉石英中流体包裹体分布特征

Fig. 4 Distribution of fluid inclusions in quartz in the ore-bearing quartz veins in the Hongshan district

(a)—压扁拉长的石英及其内部呈弧状分布的流体包裹体带; (b)—流体包裹体的线状定向排列; (c)—4 种类型包裹体共生现象; (d)—包裹体的压扁与定向排列。IB—包裹体带, V—气体包裹体, L—液体包裹体, S—固体包裹体

(a)—showing flattened quartz and elongated quartz and some arc-like fluid inclusion zones; (b)—showing line oriented fluid inclusions; (c)—showing coexisting of 4 type fluid inclusions; (d)—showing flattening and orientation of inclusions. IB—inclusion belt; V—vapor inclusion; L—liquid inclusion; S—solid inclusion

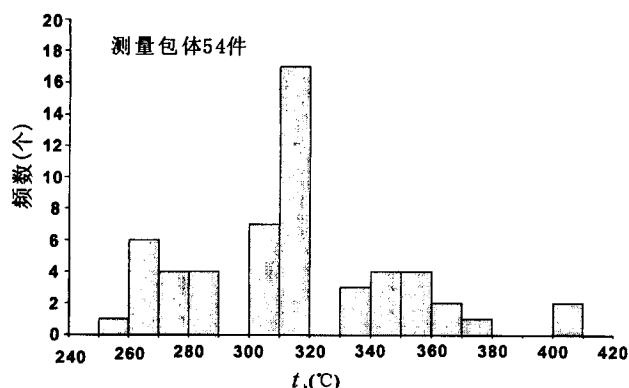


图 5 红山矿区含矿石英脉石英中流体包裹体温度频数图

Fig. 5 Temperature-frequency diagram for fluid inclusions in quartz in the ore-bearing quartz veins in the Hongshan district

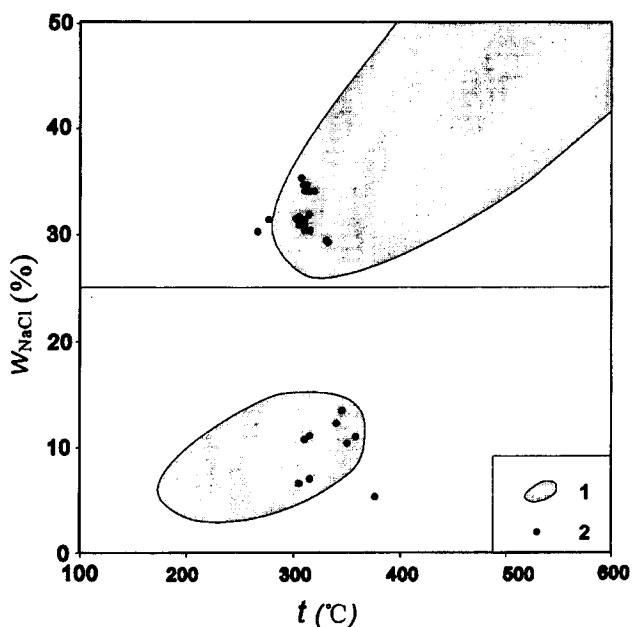


图 6 红山矿区含矿石英脉中流体包裹体温度-盐度相关图(底图据卢焕章等, 2004)

Fig. 6 Temperature-salinity relationship of fluid inclusions from the ore-bearing quartz vein in the Hongshan district (after Lu et al., 2004)

1—斑岩型矿床流体包裹体的分布范围; 2—红山矿区含矿石英脉中流体包裹体的投点

1—Distribution domain for fluid inclusions from porphyritic deposits; 2—Plots of the fluid inclusion from the ore-bearing quartz veins in the Hongshan district

与样品 HS043-4 的包裹体碳氢同位素分别为 -83.15% 与 -89.75% 、 0.92% 与 -6.23% ; ⑤ 地表与深部石英脉其流体包裹体的成分与同位素作有规律的变化, 其中地表样品 HS042-1 相对深部坑道样

品 HS043-4 其流体成分相对富 SO_4 与 Ca^{2+} 而贫 Mg^{2+} , 其氢氧同位素组成靠近岩浆水分布区略向雨水线漂移, 具相对高的碳同位素值。样品 HS043-4 的碳同位素值显示其碳具深源的特征, 即对石英脉 q_5 而言其流体为富镁的深源岩浆水, 在上升与到达地表过程有富钙(可能源于围岩大理岩)的地表水加入从而使流体的成分与同位素组成变化。

表 1 含矿石英脉包裹体成分与同位素分析结果

Table 1 Chemical composition and isotopic data of fluid inclusion from the ore-bearing quartz vein in the Hongshan district

包裹体阴、阳离子分析结果($\mu\text{g/g}$)							
样品编号	F	CL	SO_4	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
HS042-1	7.08	26.5	10.1	13.8	8.40	0.06	3.90
HS043-4	6.25	24.0	3.06	13.0	7.20	4.08	0.11
气相分析结果($\text{mol}\%$)							
	CH_4	H_2O	N_2	C_2H_6	H_2S	Ar	CO_2
HS042-1	1.227	95.093	0.288	—	—	—	3.392
HS043-4	1.335	94.899	—	—	0.035	—	3.731
硅酸盐氧同位素				包裹体碳氢同位素			
	$\delta^{18}\text{O}$ ($\%$)	$\sigma^{18}\text{O}$ ($\%$)	$\delta\text{D}_{\text{SNOW/SLAP}}$ ($\%$)	σD ($\%$)	$\delta^{13}\text{C}$ ($\%$)	$\sigma^{13}\text{C}$ ($\%$)	
HS042-1	10.47	0.006	-83.15	0.065	0.92	0.015	
HS043-4	11.92	0.004	-89.75	0.023	-6.23	0.032	

注: 流体包裹体成分与同位素由中科院地质与地球物理研究所流体包裹体与稳定同位素实验室测定, 测定人分别为: 朱和平与陈建和张福松。样品 HS042-1 采于石英脉 q_5 地表, 样品 HS043-4 采于 4150 中段坑道的石英脉 q_5 。

含矿石英脉流体包裹体上述特征显示, 含矿石英脉具斑岩型矿床的特征, 含矿石英脉可能是红山矿区 II 矿带和 III 矿带深部花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床的上部脉状矿体。含矿石英脉中次生气液包裹体的大量发育说明石英脉可能是流体运移与活动的通道, 这和石英脉与钙质硅质岩相连的现象是一致的。

5 辉钼矿 Re-Os 同位素特征与成矿年龄

为了确定红山 Cu 多金属矿区 Cu-Mo 矿形成时间与相关硅质流体的活动时间, 我们开展了含矿石英脉中辉钼矿的同位素测定与测年研究。本次分析的 6 个样品 4 个样品分别采于地表 4 条石英脉(q_1 , q_4 , q_5 与 q_6 ; 图 1b), 另 2 个样品分别采于 4150 中段坑道的石英脉 q_4 与 q_5 。石英脉中辉钼矿呈细粒状、浸染状分布或呈片状沿裂隙面分布(图 3d)。

辉钼矿的 Re-Os 同位素分析与测定是在国家地质实验测试中心进行的, 其化学分离、质谱测定和数据计算遵照 Re-Os 同位素分析与测定的试验流程与标准执行(杜安道等, 1994, 2001; Shirey et al.,

1995;屈文俊等,2003;Du 等,2004)。表 2 是红山矿区 6 个辉钼矿样品 Re-Os 同位素分析结果,图 7 是采用 Isoplot 软件作的等时线图。其中普 Os 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度,通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出, ^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素总量;Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%;模式年龄 t 按下式计算:

$$t = \{\ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})\}$$

其中: $\lambda(^{187}\text{Re}$ 衰变常数) $=1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。

表 2 红山矿床含矿石英脉辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os isotopic data of molybdenite from the ore-bearing quartz vein in the Hongshan deposit

样号	采样位置	实验编号	样重(g)	Re (ng/g)	不确定度 (dRe)	不确定度 C 普 Os (ng/g)	不确定度 d 普 Os (ng/g)	^{187}Os (ng/g)	不确定度 δOs^{187}	模式年龄 (Ma)	不确定度 dage
HS042-1	q ₅ 地表	050628-8	0.00208	26018	212	0.201	0.087	20.57	0.15	75.46	0.89
HS043-1	q ₄ 地表	050628-9	0.00248	18174	156	0.501	0.072	14.52	0.13	76.25	1.00
HS043-2	q ₆ 地表	050628-10	0.00434	25786	190	0.227	0.019	21.10	0.58	78.10	2.26
HS043-3	q ₁ 地表	050628-11	0.04017	16025	127	0.116	0.012	12.98	0.10	77.29	0.91
HS043-4	q ₅ 坑道	050628-12	0.01067	64334	477	1.318	0.047	52.14	0.38	77.35	0.87
HS043-5	q ₄ 坑道	050628-13	0.01067	40591	325	0.179	0.046	32.69	0.26	76.85	0.93

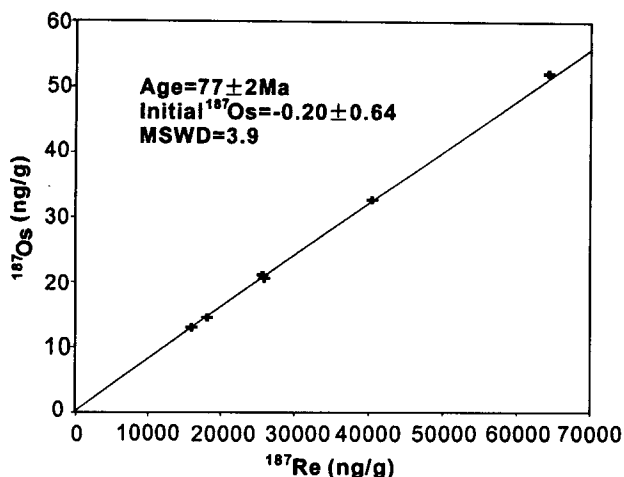


图 7 红山矿区含矿石英脉辉钼矿 ^{187}Re - ^{187}Os 等时线图

Fig. 7 Re-Os isochron of molybdenite from the ore-bearing quartz vein in the Hongshan district

6 红山铜多金属矿区斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿流体结构模型

综合上述,红山铜多金属矿区含矿石英脉与钙质硅质岩及相关的成矿作用特征可以概括为:

(1) 红山矿区不整合在大理岩、夕卡岩和磁铁矿体之上的含矿钙质硅质岩与含矿石英脉相连,是含矿石英脉的地表喷溢沉积相,为热泉沉积成因含

从表 2 与图 7 可以看出,红山矿区含矿石英脉辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果的不确定度低, ^{187}Re 与 ^{187}Os 同位素总量的测量与计算误差小于 3%,测量结果可信可靠;6 个样品 $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$ 比值呈线性关系,MSWD 值为 3.9,测年结果非常相近,这意味着矿区含矿石英脉及其中辉钼矿具相同的成因,形成于同一成矿流体事件。测试样品的总 Re 和总 Os 含量分别为 16.0~64.3 ng/g 和 0.18~1.32 ng/g。6 个样品模式年龄介于 75.46~78.46 Ma 之间,误差介于 0.87~2.26 Ma 之间;它们的等时线年龄为 77 ± 2 Ma。因此,红山铜多金属矿区的含矿石英脉及其中辉钼矿形成于晚白垩世,年龄为 77 Ma。

铁钙硅华。

(2) 富含 Cu-Mo 的含矿石英脉是红山矿区重要的铜矿矿石类型,其为花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床上部的脉状矿。

(3) 红山矿区地表的含铁钙质硅质岩、含矿石英脉及深部的花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床共同构成矿区斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿流体与不同构造部位沉积沉淀的产物。

(4) 含矿石英脉中辉钼矿的年龄可代表矿区花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床的成矿年龄,即红山矿区花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床形成时间也约为 77 Ma、晚白垩世。

因此,矿区地表含铁钙质硅质岩、含矿石英脉和深部花岗斑岩型 Cu-Mo 矿可能代表晚白垩世与花岗斑岩有关的斑岩型 Cu-Mo 成矿流体形成的地表喷溢相、通道相和流体源区相(图 8)。晚白垩世斑岩型 Cu-Mo 矿床是叠加在印支期石英二长岩有关的夕卡岩型含铜磁铁矿体与磁黄铁矿体之上的成矿。

另外,红山矿床Ⅱ号矿带大理岩一些岩溶洞穴中发育有层状铅锌多金属矿体。这些层状矿体形态极不规则,矿体产状近水平、层理构造清晰可辨,矿体中含有围岩大理岩的角砾,围岩大理岩产状陡倾,矿体与围岩间界线截然,大理岩仍保留原有的层理构造、无交代蚀变及矿化现象(图 9a)。层状矿体内

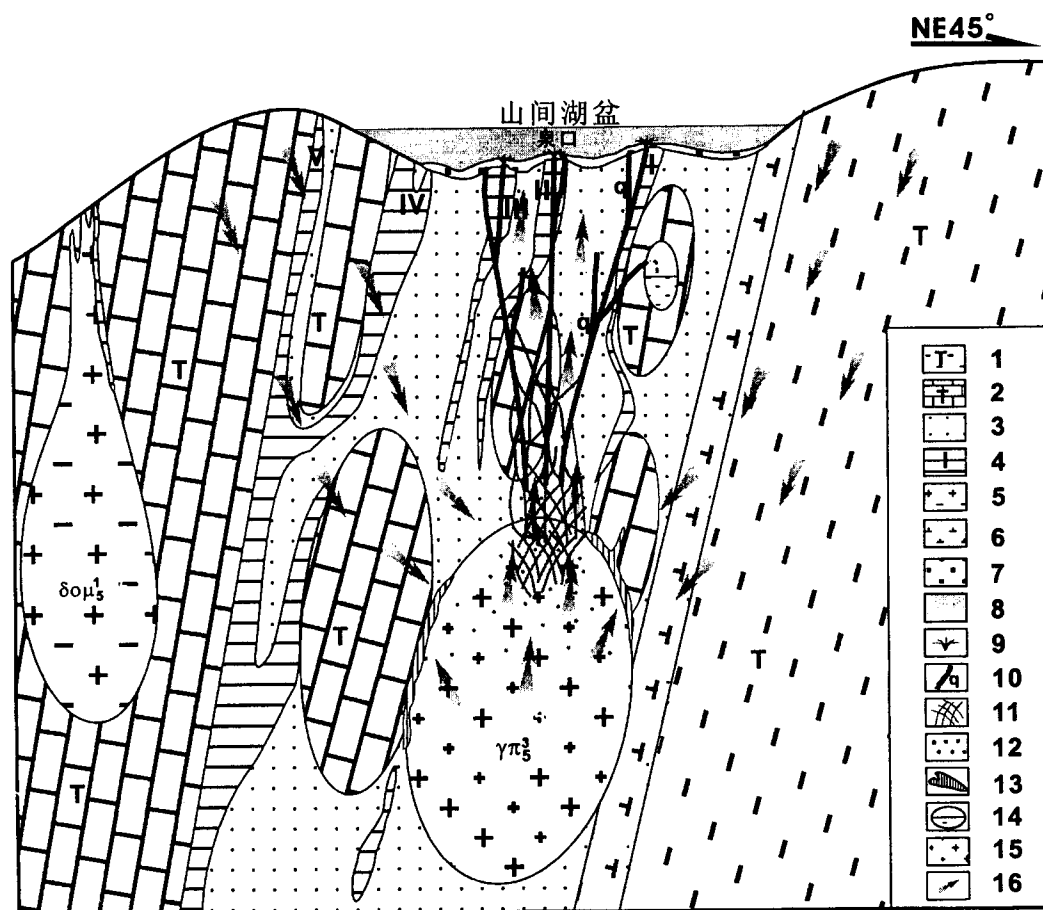


图 8 红山铜多金属矿床结构模型

Fig. 8 Textural model of the Hongshan Cu-polymetallic deposit

1—三叠系曲嘎寺组板岩; 2—三叠系曲嘎寺组大理岩; 3—角岩; 4—石榴子石夕卡岩与夕卡岩型含铜磁铁矿-磁黄铁矿矿带及其编号; 5—印支期石英二长斑岩; 6—闪长玢岩; 7—含铁钙质硅质岩; 8—山间湖盆; 9—热泉喷溢口构造; 10—含矿石英大脉; 11—含矿石英细网脉; 12—花岗斑岩中的浸染状矿化; 13—与花岗斑岩有关的夕卡岩型 Pb-Zn 多金属矿体; 14—充填于岩溶洞穴中层状 Pb-Zn 多金属矿体; 15—花岗斑岩; 16—花岗斑岩成矿系统流体的运移方向

1—Triassic slate of Qugashi Formation; 2—Triassic marble of Qugashi Formation; 3—hornfels; 4—garnet skarn; skarn-type Cu-bearing magnetite and pyrrhotite ore belt and corresponding number; 5—Triassic quartz-feldspar porphyry; 6—dioritic porphyry; 7—Fe-bearing calcareous siliceous rocks; 8—spring-fed lake; 9—vent structure; 10—ore-bearing quartz vein; 11—ore-bearing quartz networks; 12—disseminated mineralization within granitic porphyry; 13—skarn-type Pb-Zn polymetallic ore body; 14—layered Pb-Zn ores formed in some karst caves; 15—granitic porphyry; 16—migrating direction of ore-forming fluids in the granitic porphyritic mineralization system

部粒序构造发育,以图 9b 显示的矿体为例,其在照片视域范围从下到上可分为 7 个微层:①中粗粒含石英方解石的多金属硫化物(主要由黄铁矿+方铅矿+闪锌矿构成)层;②中细粒金属硫化物微层,厚约 5 mm;③细粒多金属硫化物夹少量方解石石英条带;④中粗粒多金属硫化物方解石层,厚约 1 cm;⑤中细粒多金属硫化物夹方解石石英条带;⑥细粒方解石石英岩夹细粒多金属硫化物条带;⑦粗粒含石英方解石的多金属硫化物(主要由黄铁矿+方铅矿+闪锌矿构成)层。层状矿体内部一些成分和粒度不同的矿体间界面截然。一些层状矿体内部发育不

同期次层理构造的截切现象(图 9c)和层状多金属硫化物矿体间的滑脱与褶曲现象(图 9d)。这些发育岩溶洞穴中铅锌矿体的结构构造及其与围岩相互关系特征均显示沉积作用成因,而不是夕卡岩型铅锌矿,其形成可能与矿区晚白垩世花岗斑岩的活动有关,可能是富 PbS-ZnS 流体在岩溶洞穴中沉积与沉淀的产物,成矿物质 PbS-ZnS 可能源于花岗斑岩与围岩的夕卡岩化作用及其相关的夕卡岩型矿体、也可能源于早期(印支期)夕卡岩型矿体。

值得指出的是,红山铜多金属矿区与石榴子石夕卡岩伴生的磁铁矿-磁黄铁矿体中铜的含量与

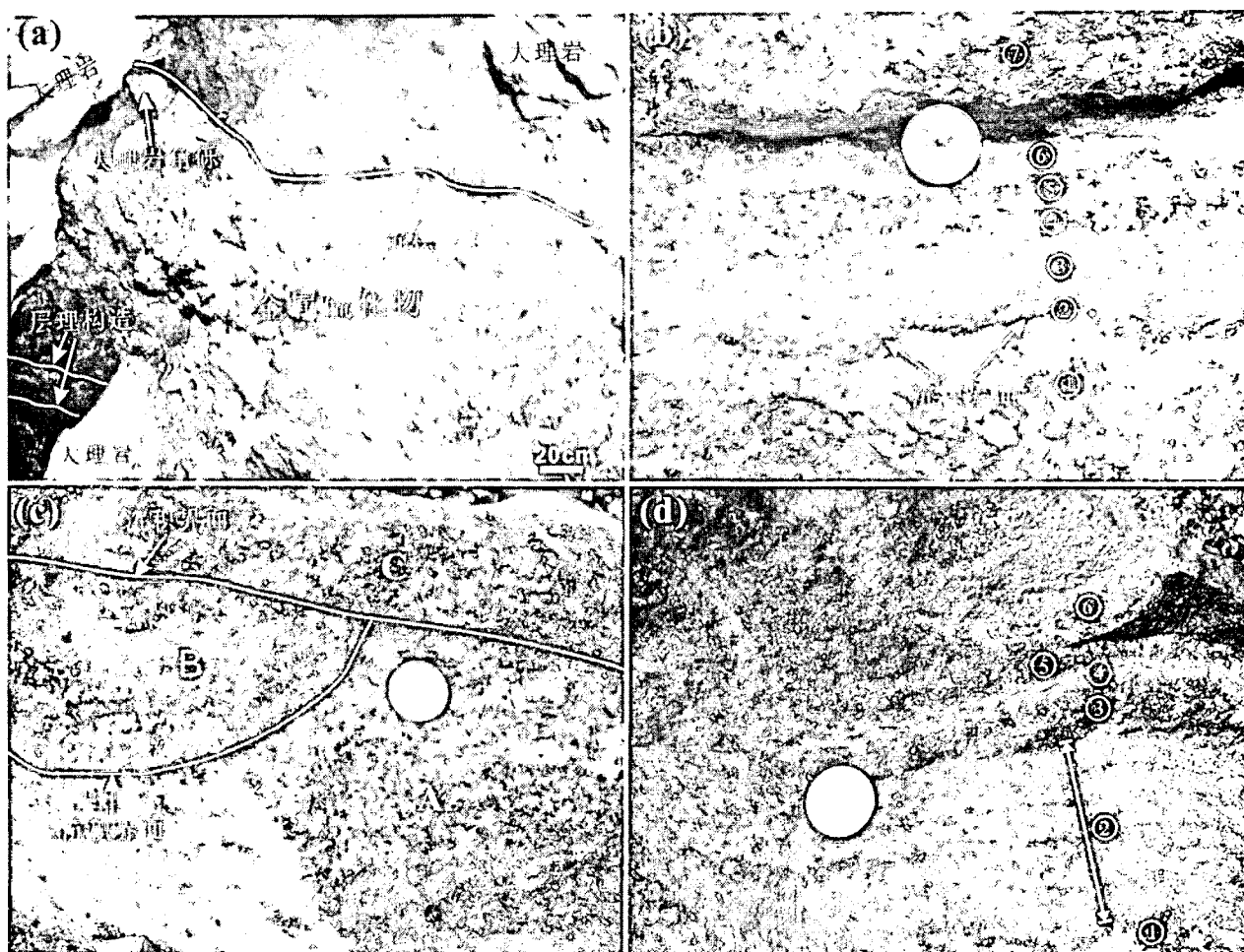


图9 红山铜多金属矿区层状 Pb-Zn 多金属矿体照片

Fig. 9 Photographs of layered Pb-Zn polymetal ores in the Hongshan Cu-polymetallic district

(a)—大理岩岩溶洞穴中的氧化纹层状硫化物矿体,矿体和大理岩截然接触、接触带大理岩无矿化与蚀变现象,矿体中含有围岩大理岩的角砾,矿体层理构造近水平、而对应的大理岩产状近直立;(b)—层状矿石的粒序层理,图片中的①、②、③、④、⑤、⑥与⑦微层的组成特征见正文;(c)—层状矿体内部不同期次层理构造的截切关系,B区矿体其层理构造呈槽状、不整合在A区层状矿体之上,C区层状矿体截切和超覆于B区和A区的矿体之上;(d)—层状多金属硫化物矿体间的滑脱与褶曲构造。硬币直径2.5 cm

(a)—Showing oxidized layered sulfide ores in a karst cave, there is a sharp contact between the ore and country marble without any alteration and mineralization, there are some marble breccias in the sulfide ore, bedding structures of the sulfide ore are near horizontal while that of marble are vertical; (b)—showing graded bedding of layered sulfide ores, composition of the micro-layer ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ and ⑦ are described in text; (c)—showing cut relationship among different bedding structures formed in different stages in a layered sulfide ore, the ore body in domain B with trough-like bedding structure unconformably overlies that in domain A with planar bedding structure, the bedding structures both in the domain A and B are overlain and cut by the planar bedding structures in domain C; (d)—showing folding structures of layered ores related to sliding among beddings. The diameter of the coin in image b, c and d is about 2.5 cm

其和石英脉的空间分布具一定的相关性。Ⅱ矿带和Ⅲ矿带靠近含石英脉的磁铁矿-磁黄铁矿体其铜含量明显增加形成富矿,以k122井1为例,靠近石英脉的磁铁矿-磁黄铁矿体其铜的品位一般0.72%~2.47%,平均1.53%,远离石英脉的磁铁矿-磁黄铁矿体其铜的品位一般0.17%~0.87%,这意味着与花岗斑岩有关的成矿流体给Ⅱ矿带和Ⅲ矿带夕卡岩型磁铁矿-磁黄铁矿体带去了一些新的铜多金属元素。同时,不含石英脉的Ⅳ矿带和Ⅴ矿带的磁铁

矿-磁黄铁矿体其铜含量为0.16%~0.52%,较Ⅱ矿带和Ⅲ矿带远离石英脉的磁铁矿-磁黄铁矿体含铜量低,这可能意味着Ⅳ矿带和Ⅴ矿带磁铁矿-磁黄铁矿体中的部分铜可能在后期流体的作用下被带离。即,燕山晚期花岗斑岩可能曾造成其周边流体的循环与对流(图8),并导致印支期夕卡岩型矿体中成矿元素的迁移与再定位。

综合上述,红山铜多金属矿区存在两个成矿系统:①与印支期石英二长斑岩有关的夕卡岩及夕卡

岩型铜多金属成矿系统,其典型矿床是与石榴子石夕卡岩伴生的含铜磁铁矿体与磁黄铁矿体;②与燕山晚期花岗斑岩有关的斑岩型 Cu-Mo-Pb-Zn 成矿系统,其包括地表喷溢沉积成因的含铁钙硅质岩、可能为流体通道相的 Cu-Mo 多金属石英网脉与脉、充填于岩溶洞穴中的层状 Pb-Zn 矿体、花岗斑岩内部的浸染状 Cu-Mo 矿化及岩体外接触带可能存在的夕卡岩型多金属矿床(图 8)。

7 红山晚白垩世花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿流体系统的区域成矿学与构造学意义

红山铜多金属矿区晚白垩世花岗斑岩及其伴生斑岩型 Cu-Mo 矿床和大规模流体活动是滇西地区晚白垩世区域构造-流体-成矿体系的一部分,而不是一个独立和个别的成矿事件。已有的资料显示,区域上金顶铅锌矿的成矿年龄为 72~68 Ma (Re-Os 年龄)(薛春纪等,2003)、金满铜矿的成矿年龄为 67 Ma (Ar/Ar 年龄)(王彦斌等,2005)、北衙钠长斑岩与斑岩铜矿的年龄为 65.56 Ma (Ar/Ar 年龄)(徐兴旺等,2006)、白玉山霞石正长岩的年龄为 66~62 Ma (Ar/Ar 年龄)(王登红等,2002)、及白秧坪银矿的成矿年龄为 62.70 Ma (Ar/Ar 年龄)(薛春纪等,2003),即晚白垩世滇西地区曾发生大规模大面积的岩浆与流体活动。

目前,一般认为金顶铅锌矿、金满铜矿、北衙斑岩铜矿和白秧坪银矿的成矿可能与印度—亚洲大陆碰撞有关(王国芝等,2001;薛春纪等,2002;徐兴旺等,2006;Xu et al., 2006)。笔者认为,红山铜多金属矿区晚白垩世花岗斑岩及其伴生的含石英脉、地表喷溢沉积成因的钙质硅质岩、及洞穴充填的层状铅锌矿体是一次较大规模流体(岩浆)活动的结果,其形成也与印度—亚洲大陆碰撞有关。

因此,若以中甸红山花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿流体系统作为印度—亚洲大陆碰撞的一个标志,则可以推测印度—亚洲大陆碰撞的开始时间可能早于 77 Ma。此结论与丁林和钟大赉(1999)从西藏南迦巴瓦峰地区高压麻粒岩相变质年龄所给出的印度—亚洲大陆碰撞开始时间(早于 70 Ma)的结论是一致的。即印度—亚洲大陆之间东段的碰撞在晚白垩世 77 Ma 就开始、并伴生有斑岩岩浆的活动与斑岩型矿床的形成。

8 结论

红山铜多金属矿区不整合分布于产状陡立的大

理岩、角岩、夕卡岩和磁铁矿-磁黄铁矿体之上的钙质硅质岩是一种含铁钙质硅华,是含石英脉的喷溢沉积相。含石英脉是红山铜多金属矿区主要的富铜矿体与矿石类型,其流体包裹体均一温度介于 250~410℃,其含盐原生包裹体具斑岩型矿床的温度-盐度结构,是红山矿区Ⅱ矿带和Ⅲ矿带深部花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床的上部脉状矿体。充填于岩溶洞穴中一些层状铅锌多金属矿体为沉积成因矿体,其形成可能是花岗斑岩与围岩相互作用产生的富 PbS-ZnS 流体在岩溶洞穴中沉积与沉淀作用。含铁钙质硅质岩、层状铅锌矿体、含石英脉和深部花岗斑岩型 Cu-Mo 矿分别代表与花岗斑岩有关的斑岩型 Cu-Mo 成矿流体系统的地表喷溢相、洞穴堆积相、通道相和流体源区相。因此,斑岩型矿床成矿流体系统不仅可在斑岩体内部及岩体上部形成浸染状—细网脉状矿体和脉状矿体,成矿流体亦可往上运移在先存空隙(如岩溶洞穴)中停留与堆积成矿、和到达地表形成热泉和沉积成因含矿泉华。

红山矿区含石英脉 6 个辉钼矿样品 Re-Os 模式年龄介于 75.46~78.46 Ma 之间,等时线年龄为 77 Ma,红山矿区花岗斑岩型 Cu-Mo 矿床形成时代为晚白垩世。红山铜多金属矿区存在两个成矿系统:①与印支期石英二长斑岩有关的夕卡岩及夕卡岩型铜多金属成矿系统,其典型矿床是与石榴子石夕卡岩伴生的含铜磁铁矿体与磁黄铁矿体;②与燕山晚期花岗斑岩有关的斑岩型 Cu-Mo-Pb-Zn 成矿系统。

红山铜多金属矿区晚白垩世花岗斑岩及其伴生斑岩型 Cu-Mo 矿床和大规模流体活动是滇西地区晚白垩世区域构造-流体-成矿体系的一部分,其形成与印度—亚洲大陆碰撞有关,据其形成时间推断印度—亚洲大陆之间东段的碰撞作用可能在晚白垩世 77 Ma 就已开始,并诱导滇西地区晚白垩世大规模成矿作用。

致谢:我们在野外地质调查过程曾得到云南滇西矿业公司杨伟光、和忠华和李志军等的帮助、得到神州矿业公司李贵明的帮助,在研究和成文过程曾得到曾普胜、刘秉光、侯增谦和张兴春等的有益启示与建议,文中流体包裹体的分析测试数据由中科院地质与地球物理研究所朱和平和谢奕汉等测定与完成,在此向他们致以衷心的感谢。

参考文献

- 丁林,钟大赉. 1999. 西藏南迦巴瓦峰地区高压麻粒岩相变质作用特征及其构造地质意义. 中国科学(D 辑), 29(5): 385~397.
杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文

- 俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339~347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄. 岩石测试, 20(4): 247~252.
- 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, 345.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社, 285~486.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄. 岩石测试, 22(4): 254~257.
- 宋保昌, 蔡新平, 徐兴旺, 王杰, 秦克章, 张宝林. 2006. 中甸红山铜多金属矿床热液喷流沉积成矿现象的发现及其成矿学意义. 地质科学, 41(4): 1~11.
- 谭雪春, 曾群望, 苏文宁. 1985. 滇西东部斑岩与斑岩铜矿. 云南省地质科学研究所(科研报告), 106.
- 王登红, 陈毓川, 骆耀南, 应汉龙, 李志伟, 付小方, 杨建民, 闫升好. 2002. 四川与云南新生代成矿作用的初步对比. 矿床地质, 21(增刊): 237~240.
- 王国芝, 胡瑞忠, 王成善, 曾允孚. 2001. 云南金顶超大型铅锌矿床的成矿地质背景. 矿物学报, 21(4): 571~577.
- 王彦斌, 陈文, 曾普胜. 2005. 滇西北兰坪盆地金满脉状铜矿床绢云母 $^{40}\text{Ar}\sim^{39}\text{Ar}$ 年龄对成矿时代的约束. 地质通报, 24(2): 181~184.
- 徐兴旺, 蔡新平, 宋保昌, 张宝林, 应汉龙, 肖骑彬, 王杰. 2006. 滇西北衙金矿区碱性斑岩岩石学、年代学和地球化学特征及其成因机制. 岩石学报, 22(3): 631~642.
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 杨伟光, 杨清标. 2002. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析. 矿床地质, 21(1): 36~44.
- 薛春纪, 陈毓川, 王登红, 杨建民, 杨伟光, 曾荣. 2003. 滇西北金顶和白夹坪矿床地质和 He, Ne, Xe 同位素组成及成矿时代. 中国科学(D), 33(4): 315~322.
- 杨岳清, 侯增谦, 黄典豪, 曲晓明. 2002. 中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统. 地球学报, 23(1): 7~24.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 728.
- 云南省地质局第七地质队. 1971. 云南省中甸铜矿红山矿区勘探储量报告. 1~44.
- 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, 22(4): 393~400.
- 周维全, 周其勤, 李云飞. 1976. 云南格咱夕卡岩型铜矿成矿地质特征. 中国地质科学院地质矿产研究所编, 铁铜矿产专辑. 北京: 地质出版社, 104~119.
- Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, Wang Shuxian, Qu Wenjun, Markey Richard, Stein Holly, Morgan John, Malinovskiy Dmitry. 2004. Preparation and Certification of Re-Os Dating Reference Materials: Molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41~52.
- Shirey S B, Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. Anal. Chem., 67: 2136~2141.
- Xu X W, Cai X P, Xiao Q B, Peters S G. 2006. Porphyry Cu-Au and associated polymetallic Fe-Cu-Au deposits in the Beiya area, Western Yunnan, South China. Ore Geology Reviews 28 (In press).

Later Cretaceous Granitic Porphyritic Cu-Mo Mineralization System in the Hongshan Area, Northwestern Yunnan and Its Significances for Tectonics

XU Xingwang¹⁾, CAI Xinping¹⁾, QU Wenjun²⁾, SONG Baochang³⁾, QIN Kezhong¹⁾, ZHANG Baolin¹⁾

1) Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology & Geophysics, CAS, Beijing, 100029

2) National Research Center of Geoanalysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

3) Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing, 100012

Abstract

The Hongshan Cu-polymetallic deposit in the Zhongdian area, northwest survey in 1959 to recent years. Our new research results show that there are two mineralization systems in the Hongshan Cu-polymetallic district: ① the Triassic skarn-type Cu-polymetallic mineralization system related to quartz-feldspar porphyry, showing by the Cu-bearing magnetite and pyrrhotite bodies associated to the garnet skarn; and ② the porphyritic Cu-Mo-Pb-Zn mineralization system related to granitic porphyry, containing Fe-bearing calcareous siliceous rocks produced by hot-spring sedimentation on ground surface, Cu-Mo polymetallic veins and networks possible existed as fluid flow channel, layered Pb-Zn ores filled in some karst caves, disseminated Cu-Mo mineralization within the granitic porphyry and some skarn-type polymetallic ores occurring in the outer contact zones of the granitic porphyry. The Re-Os isotopic model ages of six molybdenite samples from the ore-bearing quartz veins, ranging from 75.46 Ma to 78.46 Ma with an isochron age about 77Ma, implying the granitic porphyritic Cu-Mo deposit in the Hongshan area formed in the later Cretaceous.

The later Cretaceous granitic porphyry and associated porphyritic Cu-Mo deposit and fluid activities in large scale in the Hongshan area bearing a part of the later Cretaceous regional tectonic-fluids-mineralization system in western Yunnan, are related to the India-Asian collision. All these new evidence suggest that the collision between India and Asian continent and associated mineralization in great scale possibly started at 77Ma. It is also important for us to understand the textural model of ore-forming fluids of porphyritic deposits and regional mineralization and tectonics in western Yunnan.

Key words: The Hongshan Cu-Mo polymetallic deposit; ore-forming fluid texture model; Late Cretaceous; Northwest of Yunnan province, China