第 42 卷 第 1 期	泥和上柱相斯地氏	Sedimentary Coolem, and Tethyan Coolem	Vol. 42 No. 1
2022 年 3 月	机枳勺付旋别地顶	Sedimentary Geology and Tethyan Geology	Mar. 2022

DOI:10.19826/j. cnki. 1009-3850. 2022. 01022

曹晓民,董涛,余海军,张向飞,熊波,张传昱,段召艳,杜斌,2022. 滇西北香格里拉市格咱铜多金属矿集区地质演化与成矿作用. 沉积与特提 斯地质,42(1):50-61.

Cao X M, Dong T, Yu H J, Zhang X F, Xiong B, Zhang C Y, Duan Z Y, Du B, 2022. Geological evolution and metallogenesis of the Geza copperpolymetallic mineral concentration district, Shangri-La, Southwest Yunnan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(1):50-61.

滇西北香格里拉市格咱铜多金属矿集区地质演化 与成矿作用

曹晓民^{1,2},董 涛^{1,2},余海军^{1,2},张向飞^{2,3},熊 波^{1,2}, 张传昱^{1,2},段召艳^{1,2},杜斌^{1,2}

(1. 云南省地质调查院,云南 昆明 650216; 2. 自然资源部三江成矿作用及资源利用重点实验室,云南 昆明 650051; 3. 中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081)

摘要:格咱矿集区位于义敦 - 沙鲁里岛弧与盐源 - 丽江被动陆缘结合部位,长期的地质演化,形成了具有特色的成岩成矿岩石(矿物)组合。该矿集区产出铜钼金等多金属矿床 50 余处,是我国的铜资源基地之一。本文综合香格里拉市格咱地区沉积、岩浆、变质、构造对矿床分布等制约因素,综述该地区成矿作用与地质演化的关系。格咱矿集区多金属矿成矿作用主要与 二叠纪至三叠纪古特提斯俯冲封闭及三叠纪至古近纪陆内造山演化有关,即二叠纪一晚三叠世洋 - 陆转换(P-T₃)和晚三叠 世末期一古近纪的陆内发展演化(J-K-E)两个时期,进一步可细分为甘孜 - 理塘洋盆的发展演化(P-T₂)、甘孜 - 理塘洋盆的 俯冲消减及碰撞造山(T₃)、白垩纪板内伸展(K)、古近纪碰撞后板内伸展走滑(E)四个阶段。印支晚期(221~199 Ma)、燕山 晚期(88~77 Ma)、喜马拉雅早期(50~28Ma)的三期岩浆活动直接导致格咱地区多金属富集。已知矿床(点)深部及三期浅 成斑(玢)岩体外围尚有较大找矿潜力,是区内今后勘查的重点方向。

Geological evolution and metallogenesis of the Geza copper polymetallic mineral concentration district, Shangri-La, Southwest Yunnan

CAO Xiaomin^{1,2}, DONG Tao^{1,2}, YU Haijun^{1,2}, ZHANG Xiangfei^{2,3}, XIONG Bo^{1,2}, ZHANG Chuanyu^{1,2}, DUAN Zhaoyan^{1,2}, DU Bin^{1,2}

(1. Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, China; 2. Key Laboratory of Sanjiang metallogeny and resources exploration and utilization, Yunnan Geological Survey, Kunming 650051, China; 3. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: The Geza mineral concentration district, which is of more than 50 polymetallic Cu-Mo-Au-W deposits, is located at the junctional areas of the southern Yidun-Shaluli arc-basin of Gantze-Litang tectonic system and the

收稿日期: 2021-10-10; 改回日期: 2022-01-27

作者简介:曹晓民(1969—),男,正高级工程师,硕士,地质矿产勘查专业,从事找矿勘探和矿床学研究,E-mail:cxyfcy@sina.com

资助项目:国家自然科学基金项目(92055314)、中国地质调查局中国矿产地质志项目(DD20160346、DD20190379)、云南 省矿产地质与区域成矿规律综合研究(云自然资财[2019]122号)、四川省科技计划项目应用基础研究面上项 目(2018JY0175)联合资助

Lijiang continental marginal rift basin in Shangri-La area, southwest Yunnan. In this paper, the relationship between the regional geological evolution and the metallization of polymetallic deposits, especially the relationship between the tectonic evolution and the stratigraphic texture, magmatism, metamorphism, and mineralization, is discussed in detail. The mineralization in study area is characterized by multi-phases, related to the subduction and the closure of the Paleo-Tethys from Permian to Late Triassic and the long term orogenesis from the end of Triassic to Paleogene, i. e. the ocean-continent transition period (P-T₃) and the intracontinental evolution period (J-K-E). The geological evolution in study areas could be further divided into four stages: (1) the evolution stage of the Gantze-Litang oceanic basin (P-T₂), (2) the subduction and collisional orogeny stage of the Gantze-Litang oceanic basin (T₃), (3) the Cretaceous intracontinental extension stage (K), and (4) the Paleogene intracontinental extension and strike-slip stage (N-Q). Three magmatic events, which are the Late Indosinian (221 ~ 199 Ma), the Late Yanshanian (88 ~ 77 Ma), and the Early Himalayan (50 ~ 28 Ma), are closely related to the metallogenesis in study area, respectively. It is suggested that the deeper and outer sections of the ore-forming intrusions are potential for ore prospecting in Geza area in the future.

Key words: Geza copper polymetallic mineral concentration district; metallogenesis; geological evolution; magmatic; Shangri-La

0 引言

云南省香格里拉市格咱铜多金属矿集区(以下 简称格咱矿集区)位于三江成矿带云南段北东部香 格里拉市格咱乡一带,区内有目前云南省规模最大 的普朗铜矿山,已建成投产,年产铜金属量大于5万 吨,经济效益及社会效益显著。格咱矿集区是云南 省乃至全国重要的铜多金属资源基地之一。

自上世纪70年代以来区域上开展了大量地质 工作,格咱矿集区在成矿地质背景研究与矿床勘查 评价等方面取得了许多重要成果,特别是1999年国 土资源大调查与2010年找矿突破战略行动计划开 展以来,取得了许多新进展。现已发现矿床(点)50 余处,其中评价超大型矿床1处,大型矿床3处,中 型矿床7处(曹晓民等,2014a),矿床成因类型有斑 岩型、矽卡岩型、热液型、沉积改造型等,涉及铜、 钼、钨、铁、铅锌、锑、金、瓦板岩等多个矿种(图1)。 近年来随着研究工作的不断深入,部分矿床规模不 断扩大,显示了巨大的找矿潜力。

区域地质演化与成矿作用复杂多样,前人做了 许多研究工作,如侯增谦、曲晓明等对义敦岛弧碰 撞造山带的形成过程与演化历史进行了研究,认为 印支期发生大规模俯冲造山作用(238~210Ma),形 成义敦火山岩浆弧;燕山晚期(138~73Ma)岛弧碰 撞造山带发生造山后伸展作用,形成 A 型花岗岩 带;喜马拉雅期发生陆内造山作用(65~15Ma),伴 随喜马拉雅期花岗岩的侵位和拉分盆地的形成(侯 增谦等,2001)。杨岳清等(2002)认为中甸弧的演 化经历了洋壳俯冲(235~210 Ma)、陆陆碰撞(88~ 80 Ma)和陆内汇聚(28 Ma)三大造山作用。李文昌 等(2010)进一步将义敦多岛弧 - 盆系的生成、发展 和演化划分为俯冲造山作用时期(238~210 Ma)→ 碰撞造山作用时期(208~138 Ma)→后造山伸展 作用时期(138~65 Ma)→喜马拉雅期陆内造山作 用时期(65~15 Ma)4个阶段。

以上研究成果,对于确定区域地质演化总体格 架具有重要指示意义。然而,地质演化过程与成矿 的关系一直是困扰本区实现找矿突破的关键科学 问题。其针对二叠纪以来从洋陆转化到陆内挤压 伸展等不同地质演化时期(阶段)的时限及划分、动 力来源、成矿物质来源、矿床(体)的赋存分布等多 个因素间相互作用关系的系统研究还存在不足,笔 者从区内沉积、岩浆、变质、构造、矿床、矿物、岩性 特征等入手,系统梳理区内地质演化过程,重点研 究不同地质时期主要成岩成矿作用特征与矿床形 成分布的关系,以期对区内扩大已有矿床规模,指 导深部找矿提供依据。

1 成矿地质背景

格咱矿集区位于甘孜 – 理塘弧盆系之义敦 – 沙鲁里岛弧(T₃)南段与上扬子古陆块之盐源 – 丽 江被动陆缘(Pz₂)结合部位,北西为中咱陆块,南东 经甘孜 – 理塘结合带与上扬子古陆块相连,是甘孜 – 理塘洋壳向西俯冲作用的产物。矿集区涉及三 江(造山带)成矿省与上扬子(陆块)成矿省两个Ⅱ 级构造单元,主体位于香格里拉(陆块)成矿带云南



图1 香格里拉格咱铜多金属矿集区地质矿产简图

I一扬子陆块;Ⅱ一甘孜-理塘结合带;Ⅲ一义敦岛弧带;Ⅳ一中咱地块;Ⅴ一金沙江结合带;Ⅵ一江达-维西火山弧;1一上三叠统喇嘛垭组;2一 上三叠统图姆沟组;3一上三叠统曲嘎寺组;4一中三叠统尼汝组;5一下三叠统坪子组;6一二叠系洛吉组;7一古近纪正长斑岩、闪长玢岩;8一白 垩纪二长花岗斑岩;9一三叠纪石英斑岩;10一三叠纪石英二长斑岩;11一三叠纪石英闪长玢岩;12一三叠纪英安斑岩;13一超基性岩/堆晶岩; 14一地质界线;15一实测断层;16一推测断层;17一构造单元界线;18一蛇绿岩混杂岩带边界;19一地层产状;20一地层年代

> 图 1 格咱斑岩带大地构造位置图(a)和地质简图(b) Fig. 1 Tectonic map (a) and geological sketch map (b) of Geza porphyry belt

段北东侧,属香格里拉(岛弧)Cu-Pb-Zn-W-Mo-Au 矿带,面积约4500 km²。

其经历了印支期、燕山期及喜马拉雅期等多期 次构造演化,具有独特的沉积建造、火山建造,发育 与侵入作用、变质作用、构造作用有关的类型多样 的地层岩石组合,赋存有数量巨大、种类繁多的铜 多金属矿及瓦板岩等非金属矿产。

1.1 沉积建造

区内出露地层主要有二叠系洛吉组(Plj);三叠 系坪子组(T₁p)、尼汝组(T₂n)、曲嘎寺组(T₃q)、图 姆沟组(T₃t)、喇嘛亚组(T₃lm)。二叠系洛吉组 (Plj)分布于南东洛吉一带,为基性火山岩夹碎屑 岩,火山岩中枕状构造、绳状构造及淬缩裂纹发育, 碎屑岩中见递变粒序层理、水平层理及韵律层理,

属半深海—深海沉积环境,厚度 > 2444m。三叠系 坪子组 (T_1p) 与洛吉组(Pb)呈整合接触,以凝灰质 砂砾岩、凝灰粉砂质泥页岩为主,夹泥灰岩、硅质岩 及灰质角砾岩,局部见熔结凝灰岩、玄武岩,为斜 坡--深水盆地海底扇沉积,厚>1565m。尼汝组(T, n)与下伏坪子组(T₁p)呈整合接触,以微粒状大理 岩为主,为浅海相沉积,厚>1726m。曲嘎寺组(T, q)主要由砂泥质岩、碳酸盐岩及中基性火山岩组 成,属活动型浅海至半深海沉积,厚>3563m;生物 群有双壳类、珊瑚、牙形刺等,形成时代主要为晚三 叠世卡尼期早期,是红山式铜多金属矿形成的重要 围岩。图姆沟组(T₃t)为一套火山 - 沉积岩系,早期 形成深海相复理石建造,中期盆地活动带沉积了海 相火山-复理石建造,晚期沉积了深海斜坡浊积岩 建造,厚>4082m;中下部含大量双壳类及少量菊 石、头足类等,并以海燕蛤动物群为主,属特提斯海 型生物群,从生物组合面貌看,为晚三叠世卡尼期 中、晚期至诺利期,为普朗、雪鸡坪等铜矿床的重要 围岩。喇嘛亚组(T₃lm)岩性为长石石英砂岩、杂砂 质石英砂岩、石英砂岩与碳质板岩、粉砂质板岩互 层,夹煤线或薄煤层,厚>681m;早期形成于水体较 深之强还原沉积环境,晚期显示浅海陆棚环境沉积。

1.2 火山建造

火山岩发育,主要赋存在二叠系—三叠系中统 (洛吉组—尼汝组)、三叠系上统(图姆沟组—曲嘎 寺组)两套地层中,前者为陆缘裂谷火山岩组合,后 者为弧后盆地 - 岛弧火山岩组合。

二叠系—三叠系中统(洛吉组—尼汝组)陆缘 裂谷火山岩组合主要出露于东部三江口—洛吉— 尼汝一带,为基性火山岩夹碎屑岩,属海相喷发产 物,岩石化学特征显示为大陆裂谷碱性玄武岩至拉 斑玄武岩系列,为陆缘裂谷 - 洋盆的产物。

三叠系上统(图姆沟组—曲嘎寺组)弧后盆地 -岛弧火山岩组合为碎屑岩-碳酸盐岩-火山岩 混合沉积,火山岩以基性、中基性火山熔岩、凝灰 岩、沉凝灰岩为主,发育冲刷构造及粒序层理、平行 层理。地层总厚度较大,火山岩所占比例变化较为 明显,以曲嘎寺组中部一段厚约 360m 的火山熔岩、 火山碎屑岩较为集中。岩石地球化学特征多显示 弧后盆地或汇聚型板块边缘玄武岩的特征,应属洋 盆向西俯冲、消减过程中形成的弧后盆地火山-沉 积建造组合。

1.3 侵入作用

区内侵入岩发育,主要有晚三叠世火山弧石英

闪长岩组合、白垩纪后造山过碱性 - 钙碱性花岗岩 组合、古近纪后造山碱性 - 偏碱性岩组合。晚三叠 世火山弧石英闪长岩组合的岩石类型为石英闪长 玢岩、石英二长斑岩,含少量的闪长玢岩、石英二长 闪长玢岩、二长花岗岩等,呈岩株、岩枝状产出,与 上三叠统图姆沟组、曲嘎寺组呈侵入接触;总体呈 北西向展布,从西向东侵入岩有由中性---中酸性---酸性演化的趋势,总体为火山弧 I 型花岗岩,属高钾 钙碱性和钾玄岩系列,是区内斑岩型铜矿床的主要 成矿母岩。晚白垩世后造山过碱性-钙碱性花岗岩 组合呈近南北向展布,穿越不同的构造单元,其成 岩成矿具有高度的一致性;岩石类型为二长花岗 岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、花岗闪长斑岩等,呈岩 株、岩枝状分布于休瓦促、热林、红山深部等地,总 体为A型花岗岩,其成矿作用强烈,以钼、钨为主。 古近纪后造山碱性—偏碱性岩组合穿越不同的构 造单元,其成岩成矿具有高度的一致性,岩石类型 为正长斑岩、花岗斑岩等,呈岩株、岩枝状分布于甭 哥等地,岩石化学明显具高钾富碱特征,是区内斑 岩型金矿的成矿母岩,常伴生有铅锌铜等多金属矿。

1.4 变质作用

主要有区域动力变质作用、动力变质作用和接触变质作用,并形成相应的岩石组合。一是发育区域低温动力变质作用,变质程度较低,为低绿片岩相,多表现为碎屑岩类变质为变砂岩、板岩、千枚岩,碳酸盐类岩石变质为结晶灰岩、细晶大理岩等,在三叠系地层中产出瓦板岩等矿床;二是动力变质作用普遍,主要发生在断裂带或其旁侧,片理化发育,伴有动力变质岩产出,有构造角砾岩、碎裂岩、碎斑岩等,沿断裂或次级碎裂带产出有中-低温热液型铜铅锌多金属矿床;三是接触变质作用较为发育,分布于侵入岩体周围,有角岩化、砂卡岩化、大理岩化等,形成角岩类、砂卡岩类、大理岩等岩石,

1.5 构造作用

总体为北西向的复式背斜,由一系列北北西向 至北西向的紧闭褶皱组成。断裂构造发育,由地表 形迹与交切关系显示主要有三组,早期以北西向和 近南北向为主,北西向断裂多为压性,近南北向走 向断裂多为张性断裂;北东向或近东西向断裂形成 时间最晚,活动的同时改造了前两组断裂。

区内与成矿作用关系密切的构造运动主要有 三期:第一期是晚三叠世弧陆碰撞时期,表现为晚

三叠世早---中期甘孜 - 理塘小洋盆向西俯冲消减 时期,形成早期安山玄武岩为主的中基性火山-沉 积岩系(曲嘎寺组),晚期安山岩、英安岩为主的中 酸性火山 - 沉积岩系(图姆沟组),显示格咱岩浆弧 由不成熟岛弧到成熟岛弧的发展过程。晚三叠世 晚期洋盆封闭,在格咱一带发生同熔型中-中酸性 岩浆活动,其中晚末期的石英闪长玢岩、石英二长 斑岩与矿化关系密切,其热液蚀变强烈,形成典型 的斑岩型铜矿床系列,如普朗、雪鸡坪等多个矿床 (点)。第二期为侏罗一白垩纪陆内汇聚时期,表现 为酸性岩浆侵入,以钨、钼矿化为主,部分岩体与碳 酸盐岩接触带在背斜核部、穹窿、断裂等构造有利 部位形成斑岩型-矽卡岩型铜钼多金属矿床,如红 山、铜厂沟等。第三期发生在喜马拉雅早期,印度 洋板块向欧亚板块俯冲,造成研究区内陆内伸展裂 陷,发育正长(斑)岩-二长(斑)岩类,岩体蚀变强 烈,以金矿化为主,具有甭哥斑岩型金矿等。

2 地质演化与成矿

位于格咱矿集区西侧的香格里拉陆块,古生代 属扬子陆块西部边缘的一部分,晚古生代中晚期, 因甘孜-理塘洋的开启,而裂离扬子陆块(侯增谦 等,2003),晚三叠世甘孜-理塘洋壳俯冲,形成义 敦-沙鲁里岛弧带,作为格咱矿集区主要载体的格 咱岛弧位于义敦-沙鲁里岛弧带南段。通过对区 内沉积建造、岩浆活动、变形变质、岩石组合、构造 作用、矿化蚀变等地质特征的分析,结合区域上前 人工作成果,将区内与成矿关系密切的地质演化划 分为两个时期四个阶段:第一个时期为二叠纪一晚 三叠世洋-陆转换时期(P-T₃),其可划分为甘孜 -理塘洋盆的发展演化(P-T₂)、甘孜-理塘洋盆 的俯冲消减及碰撞造山(T₄)两个阶段;第二个时期 为晚三叠世末期至古近纪的陆内发展演化时期(J---K-E),具体划分为白垩纪板内伸展(K)、古近纪碰 撞后板内伸展走滑(E)二个阶段。不同的地质发展 演化阶段具有不同的地质作用与成矿作用特征,形 成区内成矿时代、矿床成因、矿物组合各具特色且 数量众多的矿床(点)(图2)。

2.1 二叠纪—中三叠世甘孜-理塘洋盆的发展演 化与成矿(P—T₂)

早二叠世中晚期以来,随着甘衣-理塘洋的进 一步发展形成被动大陆边缘环境,在东侧裂陷及洋 盆边缘部位产出一套过渡型钙碱性-碱性基性火 山-沉积建造(二叠纪洛吉组及坪子组一部),由于 环境较为动荡,常形成钙硅质复理石,总体为陆棚 -斜坡相快速沉积。火山岩岩石地球化学特征主 要显示为大陆板内-离散型大陆边缘玄武岩的特征,总体与丽江地区的二叠纪峨眉山组玄武岩较为 相似,属陆缘裂谷构造背景。生物组合有鋌、珊瑚 等,形成时代为早二叠世晚期一晚二叠世(陈应明 等,1999^①;黄建国等,2000²)。



图2 香格里拉格咱矿集区地质演化与成矿示意图

Ⅰ一扬子陆块;Ⅱ一甘孜-理塘结合带;Ⅲ一格咱岛弧带;Ⅳ一中咱陆块;F₁一甘孜-理塘断裂;F₂一格咱河断裂;F₃一香格里拉断裂;F₄-金沙江断裂;1一上三叠统;2一中三叠统;3一下三叠统;4一二叠系; 5一下元古界;6一古近纪正长斑岩;7一白垩纪二长花岗斑岩;8一三叠纪石英二长斑岩;①一普朗斑岩型铜矿;②—雪鸡坪斑岩型铜矿; ③一休瓦促钨钼矿;④—红山砂卡岩型铜矿;⑤—铜厂沟斑岩型钼矿;⑥—雨哥斑岩型金矿

图 2 香格里拉格咱矿集区地质演化与成矿示意图 Fig. 2 Geological and metallogenic models for the polymetallic mineral concentration district in the Xiangri-La

早三叠世—中三叠世早期,东侧的甘孜-理塘 洋持续扩张。于早三叠世形成—套海相碎屑岩夹 熔结凝灰岩、玄武岩组合(坪子组),与下伏二叠系 洛吉组(Plj)地层呈整合接触。早三叠世 Olenekian 期至中三叠世 Anisian 期形成—套浅海相碳酸盐岩、 碎屑夹基性火山熔岩组合(尼汝组),属海相喷发及

55

沉积产物,火山岩岩石类型有蚀变玄武岩及杏仁状 玄武岩,岩石化学成分及标准矿物特征显示为拉斑 系列。可分两个阶段,早阶段火山岩稀土曲线右 倾,轻稀土中等富集,稀土曲线同 E-MORB 型相似, 微量元素配分曲线同过渡型玄武岩相似,岩石具大 陆壳特征,为大陆边缘裂谷 – 初始小洋盆过渡带之 喷发产物;晚阶段火山岩稀土曲线右倾,轻稀土略 富集,稀土曲线同 E-MORB 型相似,岩石 K₂O、P₂O₅ 偏低,其中 P₂O₅含量(0.26%~0.39%)与洋中脊玄 武岩(0.14%)接近,K₂O 含量(0.08%~0.47%)与 洋中脊玄武岩(0.14%)接近,为初始小洋盆喷发之 产物。由上可知,甘孜 – 理塘初始小洋盆形成于中 三叠世晚期。

2.2 晚三叠世甘孜-理塘洋盆的俯冲消减及碰撞 造山过程与成矿(T₃)

甘孜 - 理塘洋盆的俯冲消减作用在中三叠世 晚期才开始,在三江口 - 白汉场蛇绿混杂岩西侧的 洛吉、马厂一带出现了蓝闪石等低温 - 高压变质矿 物,清楚地指示了向西的俯冲极性,其演化可分为 三个阶段。

中三叠世晚期一晚三叠世早期,甘孜-理塘小 洋盆停止扩张并开始向西俯冲消减,发育了曲嘎寺 组以安山玄武岩为主的中基性火山-沉积岩组合, 属活动型浅海至半深海沉积环境,其基性岩具岛弧 拉斑玄武岩特征,属碱性系列,具高 TiO₂、低 SiO₂特 征,与大陆裂谷碱性玄武岩相似,稀土元素配分曲 线呈右倾,轻稀土富集,LREE/HREE = 9.05,Eu 略 显负异常,且富集 Nb、Ta、Zr、Hf、Th、Ba 等元素,表 明岩浆源具有裂谷型岩浆岩特有的富集特征,微量 元素配分曲线同火山弧型相似,形成于前岛弧期弱 拉张环境,属收敛早期不成熟岛弧环境中的产物, 是红山式铜多金属矿形成的重要围岩。

晚三叠世中期,洋盆继续向西俯冲,使区内岩 浆弧进一步发展为成熟岛弧,发育了图姆沟组以安 山岩、英安岩为主的中酸性火山 - 沉积岩组合。其 中酸性火山岩属于钾富集型岛弧火山岩,岩石地球 化学具 TiO₂、CaO 低、与高钾安山岩相近;σ = 3.48 ~4.08,属碱性系列;稀土元素配分曲线呈右倾式, LREE/HREE 为 15.44~15.58,轻稀土强烈富集;富 集 Sr、Ba、Th、Rb、K 元素特征,微量元素配分曲线同 火山弧型相一致,暗示其形成于岛弧期挤压环境, 为板块边缘火山活动强烈区岛弧中心的产物,是甘 孜 - 理塘洋盆向西俯冲消减,中咱陆块东缘由被动 大陆边缘转化为活动大陆边缘过程中形成的岛弧 火山-沉积岩系(黄建国和张留清,2005;尹光侯 等,2005),为普朗、雪鸡坪等铜矿床的重要围岩。

晚三叠世晚期洋盆封闭,在格咱一带发生同熔 型中一中酸性岩浆活动,总体为火山弧 I 型花岗岩, 以石英二长斑岩、石英闪长玢岩、花岗斑岩为主(李 文昌和曾普胜,2007;曾普胜等,2006;任涛等,2011; 冷成彪等,2007),多表现出高钾钙碱性和钾玄岩系 列,斑岩体富集大离子亲石元素 Sr、K、Rb、Ba、Th, 相对亏损高场强元素 Ta、Nb、P、Hf、Ti。在稀土元素 球粒陨石标准化图上表现为轻稀土富集、重稀土亏 损、铕弱负异常至无异常,表明其产出于俯冲构造 环境,并受到地壳物质的混染,结合 S、Pb、Sr-Nd-Hf 同位素及 Re 同位素含量资料分析,共同指示印支 晚期斑岩 Cu 多金属成矿物质主要来自于深部岩 浆,主要起源于俯冲洋壳板片的部分熔融和上地 幔,并受到少量地壳物质的混染(吕伯西等,1993; 谭雪春等,1985³;冷成彪等,2008a,b;曹殿华等, 2009;任涛等,2011;侯增谦等,2003)。

2.3 白垩纪板内伸展阶段与成矿(K)

区内出露的最新地层为上三叠统喇嘛亚组(T₃ lm)碎屑岩夹煤线或薄煤层,显示浅海陆棚环境沉 积,顶部为一套典型的陆相沉积,常见大型单向斜 层理,说明当时有河流相的沉积,含双壳类和植物 化石。缺失侏罗系、白垩系地层,显示自晚三叠纪 末以来区内地史演化转入陆内演化阶段。

在三叠纪---侏罗纪之交的弧-陆碰撞作用中, 早期大陆板片俯冲形成同碰撞花岗岩带(约200 Ma)(侯增谦等,2004),晚期造山后伸展作用,在区 内发育有晚白垩世后造山过碱性 - 钙碱性花岗岩 组合,呈近南北向展布,穿越不同的构造单元,其成 岩成矿具有高度的一致性,岩石类型为二长花岗 岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、花岗闪长斑岩等,呈岩 株、岩枝状分布于休瓦促、热林、红山深部等地,形 成A型花岗岩带(138~75Ma)(侯增谦等,2004), 岩石化学成分上以富硅、富碱,贫水,低 CaO、MgO, 呈准铝质 - 弱过铝质, REE 呈"海鸥式"分布, 富 Ta、Zr、Nb、Ga、Y,贫Ba、Sr、Eu(侯增谦等,2001;曲 晓明等,2003),按照张旗的 Sr-Yb 花岗岩分类方案, 多属极低 Sr 高 Yb 花岗岩类,形成于板内伸展环境。 该期侵入岩成矿作用强烈,以 Mo、W 为主,伴生 Cu、 Au 等多金属组分,形成斑岩-矽卡岩-热液脉型钨 钼多金属矿,主成矿时期多在88~77 Ma之间(杨 岳清等,2002;侯增谦等,2003a;李建康等,2007;李 文昌等,2011;余海军和李文昌,2016;张向飞等, 2017;Zhang et al., 2020, 2021),产出休瓦促钨钼 矿、热林钼矿、铜厂沟钼铜矿等矿床。部分岩体上 侵于印支期岩体内或一侧,显示叠加复合成矿现 象,如红山-红山牛场浅部出露印支期侵入岩体, 深部出露燕山期斑岩体,形成斑岩型-砂卡岩型 Cu-Mo(Pb、Zn)多金属矿床(李文昌等,2011;曹晓 民等,2014c)。

2.4 古近纪碰撞后板内伸展走滑阶段与成矿(E)

随着喜马拉雅早期印度 - 亚洲大陆的碰撞,受 青藏高原碰撞隆升陆内造山作用的影响,古近纪在 区域上主要表现为陆内走滑作用,形成古近纪后造 山碱性 - 偏碱性岩组合,岩性以正长斑岩、二长斑 岩、花岗斑岩为主,呈岩株、岩枝状分布于甭哥等 地。岩石地球化学显示高钾富碱特征,岩浆起源于 地幔,具壳 - 幔混合特征,主要是幔源母岩浆上侵 过程中同化部分地壳围岩的产物。成矿流体主要 为岩浆流体和后期大气降水,为高中温,中等含盐 度,矿石的硫化物 S、Pb 同位素也表明,成矿物质来 自于下地壳及上地幔。同时,大规模走滑断裂切割 岩石圈,诱发含铜多金属的幔源岩浆活动,并使金 活化,产生一系列热液活动中心,形成了大型一超 大型富碱斑岩以 Au-Mo-Cu 为主的多金属成矿系统 (李文昌等,2010a,b)。

在格咱地区,50.2Ma(⁴⁰Ar/³⁸Ar 年龄)的亚杂英 安斑岩和 29.2 Ma(K-Ar 年龄)的甭哥正长斑岩的 发现(曾普胜,2002)限定适应大陆碰撞应变的大规 模走滑活动发生于 50~30Ma,是与 66~58Ma 的主 碰撞造山事件相对应的后造山岩石构造组合,显示 区内侵入体成岩成矿作用形成于碰撞后板内伸展 走滑构造环境。

该期侵入岩成矿作用强烈,以Au为主,伴生 Cu、Pb、Zn等多金属组分,形成的斑岩-砂卡岩-热 液型Au-Pb-Zn多金属矿床是同一构造-岩浆-热 液成矿系统的产物。成矿作用通常叠加于早期的 斑岩及斑岩型矿化体之上,普遍具有不同程度的金 矿化,如甭哥金矿及亚杂铅锌多金属矿等。

3 成矿作用特征及成矿时代

区内金属矿床的形成与岩浆侵入活动密切相 关,目前发现的矿床(点)中有超过95%的矿体直接 赋存于岩体及接触带中,其余的矿床(点)附近也发 现有侵入岩体出露,显示出与岩浆活动的密切关系。针对主要矿床的矿床成因、成矿物质来源、成 岩成矿年龄等方面前人做了大量工作,矿床(点)的 就位机制与区内晚三叠世、白垩纪、古近纪三期岩 浆侵入活动高度一致,显示区内主要存在三期成矿 作用(表1),即印支晚期(221~199 Ma)、燕山晚期 (88~77 Ma)、喜马拉雅早期(50~28 Ma)成矿作 用,尤以印支晚期、燕山晚期为甚,围绕含矿斑岩体 形成众多斑岩 - 砂卡岩 - 热液脉型铜钼金铁铅锌 锑矿床系列,并显示出成矿作用的长期性、继承性 特点,后期成矿往往叠加于早期成矿之上,使成矿 物质得以不断富集(李文昌等, 2010b; 曹晓民等, 2012^④,2014b; 余海军和李文昌, 2016; 余海军, 2018),构成了资源潜力巨大的格咱铜多金属矿 集区。

3.1 印支晚期岩浆活动与成矿作用

区内发育印支期岛弧阶段的壳幔型中一中酸 性浅成斑(玢)岩,主要为闪长玢岩、石英闪长玢岩、 石英二长斑岩组成的复式岩体。含矿斑岩体是岩 浆演化晚期的石英二长斑岩体、花岗斑岩,通常较 小,与石英闪长玢岩过渡。均侵入于三叠系上统 (图姆沟组一曲嘎寺组)弧后盆地 - 岛弧火山岩组 合中,该组合由砂板岩、碳酸盐岩夹中一酸性火山 岩构成,火山岩岩性以变质安山岩、蚀变杏仁状玄 武安山岩、蚀变英安岩、蚀变流纹岩为主,岩石主要 属亚碱性系列,少数偏碱性系列,主要为富钠质、钠 质,少数钾质、富钾质岩石。其中,亚碱性岩石绝大 多数为亚碱性钙碱系列玄武岩 - 安山岩组合。

与安山岩同源的浅成中一酸性斑(玢)岩以石 英闪长玢岩、石英二长斑岩为主,少量为二长斑岩、 花岗闪长斑岩等,侵入活动时间为221~199 Ma(曾 普胜等,2003;冷成彪等,2008a;李文昌等,2009;曹 殿华等,2009;庞振山等,2009;杨帆等,2011;任江波 等,2011),成岩成矿时间大体一致,矿化以铜多金 属矿为主。

印支晚期是区内最重要的成矿时期,侵入的 中一中酸性斑(玢)岩体既是成矿物质的来源,也是 矿床的载体。具典型的"斑岩型"矿化:岩体中心部 位,为钾化硅化带(内侧),节理密集发育,产生"面 型"铜矿化,形成大透镜状矿体;边部的绢英岩化 带,具"线型"矿化,形成条带状矿体;外缘的青盘岩 化带,形成脉状矿体。矿体主要赋存于斑岩体内, 少数位于外接触带附近,形成以壳幔型中一中酸性

	Table 1 M	letallogenic ages of deposits i	in the Xiangri-La polym	etallic mineral co	ncentration district
矿床名称	含矿岩性	测试方法	成岩成矿年龄(Ma)	形成时代	资料来源
雪鸡坪铜矿	含矿斑岩(绢英岩化带)	锆石 SHRIMP 年代	215.2±1.9	印支晚期	曹殿华等,2009
春都铜矿	闪长玢岩、花岗闪长斑岩		$217 \sim 218$	印支晚期	杨帆等, 2011
烂泥塘铜矿	石英二长斑岩、石英闪长玢岩		216.7	印支晚期	任江波等, 2011
	图二万丈一万克也的	黑云母 K-Ar 年龄	$221.5 \sim 235.4$	印支晚期	1000 - 37-141 梁 梁
구산 다디 생리 사구	羔厶勹头—下斑石的	辉钼矿 Re-Os 年龄	213±3.8	印支晚期	官官/庄守, 2004
晋明铜柳	石英二长斑岩、石英闪长玢岩	锆石 U-Pb 年龄	$221\!\sim\!211.8$	印支晚期	00000 - 347 11: 244 344
	花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb 年龄	206.3	印支晚期	DE拆出寺, 2009
松诺铜矿	石英闪长玢岩		220.9±3.5	印支晚期	冷成彪等, 2008a
浪都铜矿	二长斑岩	黑云母 40Ar-39Ar 坪年龄	216.93±4.34	印支晚期	曾普胜等, 2003
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	111 July 1	黑云母 40Ar-39Ar 坪年龄	199.1±1.3	印支晚期	大大百杯 2000
阳科士奶阵铄 御	斑石	等时线年龄	199.2±2.4	印支晚期	李乂自寺, 2009
	二长花岗岩	Rb-Sr 等时线年龄	88	燕山晚期	杨岳清等, 2002
년 11 년 11 년 11 <u>1</u>	蚀变花岗岩内石英脉型矿石中	辉钼矿的 Re-Os 模式年龄	86.7 ± 2.1 \sim 85.8 ± 2.6	燕山晚期	侯增谦等, 2003a
仆凡促锷锢仰	黑云二长花岗斑岩	辉钼矿 Re- Os 年龄	83±1	燕山晚期	李建康等,2007
	二长花岗岩	锆石 U-Pb 年龄	78-85	燕山晚期	余海军和李文昌, 2016; 张向飞等, 2017; Zhang et al., 2020, 2021
		Rb-Sr 等时线年龄	$80{\sim}88$	燕山晚期	杨岳清等, 2002
热林岩体(钼矿)	黑云二长花岗斑岩	辉钼矿 Re-Os 年龄	81.2±2.3	燕山晚期	李建康等, 2007
		锆石 U-Pb 年龄	78±1.6	燕山晚期	Li et al., 2021
	含辉钼矿石英脉	辉钼矿 Re-Os 年龄	77±2	燕山晚期	徐兴旺等, 2006
红山铜矿	石英二长斑岩	辉钼矿 Re-Os 年龄	80.2±1.3~77.6±1.1	燕山晚期	李文昌等, 2011
	花岗斑岩	锆石 U-Pb 年龄	$81.1 {\pm} 0.5$	燕山晚期	王新松等, 2011
	含矿花岗闪长斑岩	辉钼矿 Re-Os 年龄	85±2	燕山晚期	李文昌等, 2012
바비 <i>/ - </i>	含矿花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb 年龄	84.57 ± 0.29	燕山晚期	余海军等, 2015
亚杂	英安斑岩	40Ar / 38Ar 年龄	50.2	喜马拉雅早期	
木司へむ	正长斑岩	K-Ar 年龄	29.2	喜马拉雅早期	曾普胜,2002
用可还仰	黑云母辉石正长斑岩		28.2	喜马拉雅早期	李光勋,1987

表1 云南省香格里拉市格咱铜多金属矿集区主要矿床成岩成矿时代 allogenic ages of deposits in the Xiangri-La polymetallic mineral concent

2022 年(1)

滇西北香格里拉市格咱铜多金属矿集区地质演化与成矿作用

57

浅成含矿斑(玢)岩体为中心的矿床系列,成矿元素 具有以复式中酸性斑(玢)岩体为中心的对称环带 状分带特点,Cu、Mo在内带,Pb、Zn、Ag、Sb等在外 带(曹晓民等,2014b)。产有普朗、雪鸡坪、烂泥塘 等超大—大型斑岩型铜矿(Li et al., 2011, 2017)及 帕纳牛场辉锑矿(李文昌等,2009)。

普朗斑岩铜矿矿床地质特征:含矿斑岩体侵入 于图姆沟组二段地层中,围岩岩性为灰至深灰色板 岩、粉砂质绢云板岩、变质砂岩等。矿体严格受岩 体和构造裂隙、围岩蚀变控制。含矿岩石主要为石 英二长斑岩,其次为(石英)二长闪长玢岩,根据对 矿石中石英二长斑岩矿石中石英、黄铁矿的流体包 裹体测温结果,温度集中在200~300℃,而穿插于 矿石中的黄铜矿 - 石英脉的均一温度为 158℃。矿 区成矿温度为150~300℃。蚀变有钾化、硅化、绢 云母化、钠长石化、绿泥石化、绿帘石化。矿化有黄 铁矿化、黄铜矿化、磁黄铁矿化、辉钼矿化、方铅矿 化、褐铁矿化(范玉华等,2011⁵;曹晓民等,2014c)。 石英二长斑岩、石英闪长玢岩的锆石 U-Pb 年龄 221 ~211.8 Ma;末期花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄为 206.3Ma(庞振山等,2009)。石英-辉钼矿阶段的 辉钼矿 Re-Os 年龄大致为(213 ± 3.8) Ma(曾普胜 等,2004),其形成年龄相互之间十分相近,显示成 矿作用于印支晚期完成(曾普胜等,2004)。

3.2 燕山晚期岩浆活动与成矿作用

燕山晚期区内岩浆侵入活动强烈,发育后造山 过碱性-钙碱性花岗岩组合,呈近南北向展布,侵 入地层为三叠系上统图姆沟组、喇嘛亚组,并叠加 于印支期岩浆作用之上。岩体和围岩的侵入关系 十分明显,在和砂泥质围岩接触时,在其外接触带 普遍产生角岩化,和碳酸盐岩接触时常形成接触交 代砂卡岩。侵入岩岩性以二长花岗岩、花岗闪长岩 为主,少数为黑云母钾长花岗岩,局部出露花岗闪 长斑岩,岩石化学成分上富硅、富碱,贫水,低 Al, O₃、CaO、MgO,呈准铝质一弱过铝质,REE 呈"海鸥 式"分布,富Ta、Zr、Nb、Ga、Y,贫Ba、Sr、Eu(侯增谦 等,2001;曲晓明等,2003),深源浅成,属 A 型花岗 岩类,形成于板内伸展环境。从各矿床的 S、Pb、Sr 同位素及 Re 同位素含量资料分析,成矿物质主要 为壳幔混合,以壳源物质为主(吕伯西等,1993;李 健康等,2007;徐兴旺等,2006;尹光侯等,2009;李文 昌等,2011)。

侵入活动时间主要集中在88~78 Ma之间(李

文昌等,2013; Wang et al., 2014a, b; He et al., 2018; Zhang et al., 2020, 2021;杨岳清等,2002;侯 增谦等,2003a;李建康等,2007;余海军和李文昌, 2016;张向飞等,2017;徐兴旺等,2006;王新松等, 2011)。其成岩成矿具有高度的一致性,以斑岩体 为中心,成矿元素从岩体向外,由 Mo、W(Cu)→Cu、 Au→Pb、Zn、Ag,构成较完整的斑岩成矿系统(曹晓 民等,2014c),形成斑岩型 – 砂卡岩型钼铜矿(红山 铜钼矿、铜厂沟钼铜矿、热林钼矿)→石英脉型钨钼 矿 – 含金锡钨富银铅锌的多金属型矿床(体瓦促、 沙都格勒、亚杂、沃迪措)系列。

由此可见,燕山晚期以斑岩型 Mo、W 为主的成 矿作用不是一个独立和个别的成矿事件,是晚白垩 世整个区域上燕山运动的岩浆 - 流体 - 成矿体系 的一部分,其成矿作用叠加于印支期岩浆成矿作用 之上,使得区内许多重要矿床得到进一步富集。如 普朗、雪鸡坪、郎都等斑岩、砂卡岩矿床(任涛等, 2009)。流体包裹体研究结果表明,矿床形成过程 中存在地球化学特征不同的两套成矿流体系统,对 应形成有高温、高盐度流体和低温、低盐度流体,显 示区内成矿作用一期为主,多期、复合叠加成矿作 用的特点。

红山斑岩-矽卡岩铜钼矿矿床地质特征:矿区 出露地层主要有三叠系上统曲嘎寺组和图姆沟组, 总体为一单斜构造,岩层倾向 240°,倾角 60°~80°。 矿区岩浆侵入活动有两期,早期为与图姆沟组中安 山岩、英安岩同源的浅成斑(玢)岩,形成于印支晚 期214 Ma(谭雪春等,1985³⁾),地表零星出露于矿区 北东侧,围岩蚀变弱,与矿化关系不密切;晚期岩浆 侵位于矿区深部,岩性为石英二长斑岩、二长花岗 斑岩,活动时间80.2~77.6Ma(李文昌等,2011),石 英 - 辉钼矿阶段的辉钼矿 Re-Os 年龄大致为(77 ± 2)Ma(徐兴旺等,2006),两者十分相近,并经野外工 作证实,矿床主成矿时期应为燕山晚期。含矿岩性 主要为斑岩、砂卡岩,另有少量角岩,矿体顶、底板 主要为大理岩、角岩,部分为砂卡岩。矿体与围岩 呈渐变关系,其中斑岩体中以钼矿为主,砂卡岩中 主要赋存铜矿,外围铅锌矿品位变富。由岩体向外 形成明显的斑岩型(钼)→矽卡岩型(铜)→热液型 (铅锌)蚀变矿化分带。

3.3 喜马拉雅早期岩浆活动与成矿作用

喜马拉雅期是青藏高原碰撞隆升陆内造山阶段,印度-亚洲大陆碰撞在区内主要表现为陆内走

滑作用,并控制碱性花岗岩和花岗斑岩的发育,同时,大规模走滑断裂切割岩石圈,诱发含铜多金属的幔源岩浆活动,并使金活化,产生一系列热液活动中心,形成了大型—超大型富碱斑岩以Au-Mo-Cu为主的多金属成矿系统(李文昌等,2010a,b)。

侵入体岩性以正长斑岩、二长斑岩、花岗斑岩 为主,岩石化学明显具高钾富碱特征。岩浆起源于 地幔,具壳 - 幔混合特征,主要是幔源母岩浆上侵 过程中同化部分地壳围岩的产物,成矿流体主要为 岩浆流体和后期大气降水,为高中温,中等含盐度, 矿石的硫化物 S、Pb 同位素也表明,成矿物质来自 于下地壳及上地幔。在格咱地区,亚杂英安斑岩 的⁴⁰Ar/³⁸Ar 年龄 50.2Ma 和甭哥正长斑岩的 K-Ar 年龄 29.2 Ma(曾普胜,2002)限定适应大陆碰撞应 变的大规模走滑活动发生于 50~30Ma。其斑岩 -砂卡岩型 Au-Pb-Zn 多金属矿床是同一构造 - 岩浆 - 热液成矿系统的产物。成矿作用通常叠加于早 期的斑岩及斑岩型矿化体之上,普遍具有不同程度 的金矿化。

甭哥斑岩金矿矿床地质特征:矿区出露地层为 三叠系上统图姆沟组二段(T₃t²),岩性为深灰色板 岩、变质砂岩、粉砂质绢云板岩、安山岩、英安岩、流 纹岩,夹火山碎屑岩。断裂发育,以北西向断裂为 主,北东向次之。岩浆侵入活动有两期,早期岩性 为石英闪长玢岩、正长斑岩,形成于印支晚期 201.4 Ma(曹殿华等,2007);晚期岩浆活动强烈,共圈闭有 岩体、岩脉 31 个,出露面积均较小,呈近南北向分 布,推测深部可能相连成一个大的斑岩体,主要岩 石类型有黑云母正长斑岩,煌斑岩等,其中以正长 斑岩分布较广,活动时间 29.2~28.2 Ma(曾普胜, 2002;李光勋,1987),成矿元素以金矿为主,金矿体 赋存于斑岩体内,矿床成因类型与北衙金矿相似, 属与喜马拉雅期富碱斑岩体有关的金铜矿。

3.4 多期成矿系统及复合叠加成矿作用

由此可知,区内众多铜钼金多金属矿床(点)的 形成与三期岩浆侵入活动密切相关,即相互独立又 互有联系,显示出岩浆成岩的多期性、复合性及成 矿的专属性、叠加性、多样性、系统性特点(李文昌 等,2013;Li et al., 2017, 2021)。相应地产出有三 类成岩(矿)系统,一是印支期I型花岗岩成矿系统, 岩性以石英二长斑(玢)岩为主,由内向外成矿元素 组合特征为Cu(Fe、Mo)→Pb、Zn、Sb,如普朗铜矿、 欠虽铁矿、帕纳牛场辉锑矿;二是燕山期 I/A 型花岗 岩成矿系统,岩性以二长花岗岩、花岗闪长岩为主, 由内向外成矿元素组合特征为 Mo、W→Cu→Pb、 Zn、Ag,如休瓦促钨钼矿、铜厂沟钼铜矿;三是喜马 拉雅期碱性—偏碱性花岗岩成矿系统,岩石类型为 正长斑岩、花岗斑岩等,由内向外成矿元素组合特 征为 Au→Cu(Mo)→Pb、Zn、Ag,如甭哥金矿。在地 质演化过程中三期岩浆活动及成矿热液往往沿区 域性继承活动断裂带侵入,后期岩浆成矿作用往往 对前期成矿作用进行叠加、改造,使区内成矿元素 不断富集,形成了现今区内复杂、多样的成矿元素 及矿床(点)组合,如红山、雪鸡坪、普朗、甭哥等矿 区均发现有多期岩浆作用。

4 结论

自晚古生代以来,随着甘孜-理塘洋的开启, 香格里拉陆块作为扬子陆块西部边缘的一部分而 裂离,进入了长达3亿年的地质演化历程,其间经历 了印支期俯冲消减、岛弧形成及晚期的碰撞造山、 燕山期陆内汇聚及晚期伸展地壳沉降、喜马拉雅早 期陆内伸展裂陷及走滑等多期、多幕次地质事件。 在长期复杂多样的演化过程中,伴随三期主要构造 活动产生了相应的岩浆侵入与成矿作用,具有长期 性、继承性特点,形成独特的岩石、矿物及矿床成矿 系列组合,赋存了丰富的铜钼金多金属矿产资源。

云南省三年找矿行动计划成果(2010—2012 年)显示,区内主要矿种资源量铜金属量 825 万吨, 铅锌金属量 74 万吨,钼金属量 31 万吨,铁矿石量 1139 万吨(曹晓民等,2014a),且随着勘查工作的深 入,已有矿床规模在进一步扩大,目前普朗、红山等 生产矿山已产生巨大的社会经济效益。同时,随着 研究工作的深入,现有资料显示,许多小型矿床 (点)的深部及外围尚有较大找矿潜力,是区内勘查 工作部署的重点方向。故系统梳理区内地质演化 与成岩成矿的关系,总结矿床形成及分布规律,对 于缩小找矿靶区,指导工程布置施工,扩大矿床规 模实现深部找矿突破均具有重要意义。

致谢:本文的野外和资料整理工作得到了云南 省地质调查院矿产所多位同事和普朗铜矿刘华武、 吴维虎、吴练荣的大力支持;此外,本文行文过程中 得到了施玉北正高级工程师、程胜辉正高级工程 师、李蓉工程师、曾妍工程师的支持,在此一并 致谢。

注释:

- ①陈应明,黄建国,金建才,等,1999.1:5万欠虽、红山幅区域地质调查报告[R].昆明:云南省地质矿产勘查开发局第三地质大队.
- ②黄建国,段国玺, 尹光侯, 等, 2000. 1:5 万五村、属都海、移山幅 区域地质调查报告[R]. 昆明: 云南省地质矿产勘查开发局第三 地质大队.
- ③谭雪春,曾群望,苏文宁,1985. 滇西东部斑岩与斑岩铜矿[R]. 昆明:云南省地质科学研究所
- ④曹晓民, 张世权, 范玉华, 等, 2012. 云南省中甸地区铜多金属矿 评价地质报告[R].
- ⑤范玉华,曹晓民,张世权,等,2011. 云南省迪庆普朗铜矿区勘探报告[R].昆明:云南迪庆有色金属有限责任公司,云南省地质调查院.

参考文献(References):

- Deng J, Wang Q F, Li G J, et al., 2014. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineraldeposits in the Sanjiang region, SW China [J]. Gondwana Research, 26(2): 419 -437.
- He W Y, Xie S X, Liu X D, et al., 2018. Geochronology and geochemistry of the Donglufang porphyry-skarn MoeCu deposit in the southern Yidun Terrane and their geological significances [J]. Geoscience Frontier, 9:1433 – 1450.
- Li W C, Zeng P S, Hou Z Q, et al., 2011. The Pulang porphyry copper deposit and associated felsic intrusions in Yunnan province, southwest China [J]. Economic Geology, 106(1): 79 – 92.
- Li W C, Yu H J, Gao X, et al., 2017. Review of Mesozoic multiple magmatism and porphyry Cu – Mo (W) mineralization in the Yidun Terrain, eastern Tibet Plateau [J]. Ore geology reviews, 90: 795 –812.
- Li W C, Pan G T, Zhang X F, et al., 2021. Tectonic evolution of the Paleo-Tethys multi-arc-basin- terrane system and its continuous control of the multi-episodic metallogenesis in the Sanjiang Region, SW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences: doi.org/10.1016/ j. jseaes. 2021.104932.
- Reid A J, Wilson C J L and Liu S, 2005. Structural evidence for the Permo – Triassic tectonicevolution of the Yidun arc, eastern Tibetan Plateau [J]. Journal of Structural Geology, 27: 119 – 137.
- Reid A J, Wilson C J L, Chen J L, et al., 2007. Mesozoic plutons of the Yidun Arc, SW China: U/Pb geochronology and Hf isotopic signature [J]. Ore geology reviews, 31: 88 - 106.
- Wang X S, Bi X W, Leng C B, et al., 2014a. Geochronology and geochemistry of Late Cretaceous igneous intrusions and Mo-Cu-(W) mineralization in the southern Yidun Arc, SW China: Implications for metallogenesis and geodynamic setting [J]. Ore Geology Reviews, 61: 73-95.
- Wang X S, Hu R Z, Bi X W, et al., 2014b. Petrogenesis of Late Cretaceous I-type granites in the southern Yidun Terrane: New constraints on the Late Mesozoic tectonic evolution of the eastern

Tibetan Plateau [J]. Lithos, 208 – 209: 202 – 219.

- Xiao L, Zhang H F, Clemens J D, et al., 2007. Late Triassic granitoids of the eastern margin of the Tibetan Plateau: Geochronology, petrogenesis and implications for tectonic evolution [J]. Lithos, 96:436-452.
- Zhang X F, Li W C, Yang Z, et al., 2020. Mineralization significance of Aplite in the Xiuwacu W-Mo deposit, NW Yunnan, China: Constrains by geochronology, oxygen fugacity and geochemistry [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 204(8):104555.
- Zhang X F, Li W C, Yang Z, et al., 2021. Stable isotopes and Fluid Inclusions constraints on the Source and Evolution of Ore Fluids in the Xiuwacu W-Mo Granite-related Quartz-vein deposit, Yunnan Province, China [J]. Ore Geology Reviews: doi. org/10. 1016/j. oregeorev. 2021. 104245.
- Zheng Y F, Mao J W, Chen Y J, et al., 2019. Hydrothermal ore deposits in collisional orogens [J]. Science Bulletin, 64: 205 -212.
- 曹殿华,王安建,黄玉凤,等,2009.中甸雪鸡坪斑岩铜矿含矿斑岩 锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成 [J].地质学报,83 (10):1430-1435.
- 曹殿华,王安建,修群业,等,2007.中甸地区甭哥正长岩地球化学 特征及其地质意义 [J].地质学报,81(7):995-1003.
- 曹晓民,范玉华,张世权,等,2014b.云南中甸格咱铜多金属矿集 区成矿系列与找矿前景[J].云南地质,33(3):287-296.
- 曹晓民,范玉华,张世权,等,2014c.云南香格里拉红山地区多金 属矿床特征及成矿模式[J].云南地质,33(2):163-171.
- 曹晓民,李文昌,范玉华,等,2014a. 云南香格里拉格咱地区铜多 金属矿整装勘查取得新进展[J]. 云南地质,33(增刊):80-85.
- 侯增谦,曲晓明,周继荣,等,2001.三江地区义敦岛弧碰撞造山过程:花岗岩记录[J].地质学报,75(4):484-497.
- 侯增谦,杨岳清,曲晓明,等,2004.三江地区义敦岛弧造山带演化 和成矿系统[J].地质学报,78(1):109-120.
- 侯增谦,杨岳清,王海平,等,2003.三江义敦岛弧碰撞造山过程与 成矿系统[M].北京:地质出版社.
- 黄建国,张留清,2005.中甸晚三叠世图姆沟组岩石化学与构造环 境[J].云南地质,24(2):186-192.
- 冷成彪,张兴春,王守旭,等,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为例[J]. 矿 物学报,27(3/4):414-421.
- 冷成彪,张兴春,王守旭,等,2008a. 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,32 (1):124-130.
- 冷成彪,张兴春,王守旭,等,2008b. 滇西北雪鸡坪斑岩铜矿 S,Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪[J].矿物岩石,28(4): 80-88.
- 李建康,李文吕,王登红,等,2007.中甸弧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,23(10):2415 -2422.
- 李文昌, 曾普胜, 2007. 云南普朗超大型斑岩铜矿特征及成矿模型 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 34(4):436-446.
- 李文昌,潘桂棠,侯增谦,等,2010b.西南"三江"多岛弧盆-碰撞造

山成矿理论与勘查技术[M].北京:地质出版社.

- 李文昌, 王可勇, 尹光候, 等, 2013. 滇西北红山铜矿床成矿流体地 球化学特征及矿床成因[J]. 岩石学报, 29(1): 270-282.
- 李文昌, 尹光侯, 余海军, 等, 2011. 滇西北格咱火山-岩浆弧斑岩 成矿作用[J]. 岩石学报, 27(9): 2541-2552.
- 李文昌, 尹光候, 卢映祥, 等, 2009. 中甸普朗复式斑岩体演化及⁴⁰ Ar-³⁹Ar 同位素依据[J]. 地质学报,83(10): 1421-1429.
- 李文昌, 尹光候, 卢映祥, 等, 2010a. 西南"三江"格咱火山-岩浆弧 中红山-属都蛇绿混杂岩带的厘定及其意义[J]. 岩石学报, 26 (6): 1661-1671.
- 李文昌,余海军,尹光候,等,2012. 滇西北铜厂沟钼多金属矿床辉 钼矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿环境[J]. 矿床地质,31(2): 282-292.
- 吕伯西, 王增, 张能德, 等, 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属 性[M]. 北京, 地质出版社: 1-108.
- 庞振山,杜杨松,王功文,等,2009. 云南普朗复式岩体锆石 U-Pb 年 龄和地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报,29(4):159 -165.
- 曲晓明,侯增谦,唐绍华,2003.义敦岛弧带弧后区板内岩浆作用的时代及意义[J].岩石矿物学杂志,22(2):131-137.
- 任江波,徐继峰,陈建林,2011.中甸岛弧成矿斑岩的锆石年代学及 其意义[J].岩石学报,27(7):2591-2599.
- 任涛,钟宏,陈金法,等,2011.云南中甸地区浪都高钾中酸性侵入 岩的地球化学特征[J].矿物学报,31(1):43-54.
- 任涛,钟宏,张兴春,等,2009. 滇西北浪都夕卡岩型铜矿床的矿物 学及流体包裹体研究[J]. 矿物学报,29(S1):242-243.
- 王新松,毕献武,冷成彪,等,2011. 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[J]. 矿物 学报,31(3):315-321.
- 徐兴旺,蔡新平,屈文俊,等,2006. 滇西北红山晚白垩世花岗斑岩 Cu-Mo成矿系统及其大地构造学意义[J]. 地质学报,80(9):

1422 – 1433.

- 杨帆, 邹国富, 吴静, 等, 2011. 中甸春都铜矿区岩体成岩时代及其 意义[J]. 大地构造与成矿学, 35(2): 307-314.
- 杨岳清,侯增谦,黄典豪,等,2002.中甸弧碰撞造山作用和岩浆成 矿系统[J].地球学报,23(1):17-24.
- 尹光侯,刘星,邓志祥,等,2005.云南中甸五村-移山晚三叠世沉 积及盆地特征[J].云南地质,24(1):58-66.
- 尹光候,李文昌,蒋成兴,等,2009.中甸火山-岩浆弧燕山期热林复 式岩体演化与 Ar-Ar 定年及铜钼矿化[J].地质与勘探,45(4): 385-395.
- 余海军,2018. 格咱斑岩带复合成矿系统及找矿方向[D]. 北京:中国地质大学(武汉)博士学位论文.
- 余海军,李文昌,2016. 滇西北休瓦促 Mo-W 矿区印支晚期和燕山晚 期岩浆活动与成矿作用:来自锆石 U-Pb 年代学和地球化学的 证据[J]. 岩石学报,32(8):2265-2280.
- 余海军,李文昌,尹光候,等,2015. 滇西北铜厂沟 Mo-Cu 矿床岩体 年代学、地球化学及其地质意义[J].岩石学报,31(11):3217 -3233.
- 曾普胜,侯增谦,李丽辉,等,2004. 滇西北普朗斑岩铜矿床成矿时 代及其意义[J]. 地质通报,23(11):1127-1131.
- 曾普胜,李文昌,王海平,等,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[J].岩石学报,22(4):989-1000.
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠,等,2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J]. 矿床地质,22(4):394-400.
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠,等.2002. 滇西富碱斑岩带的 Nd、Sr、Pb 同
 位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志,21(3):231
 -241.
- 张向飞,李文昌,尹光候,等.2017. 滇西北休瓦促钨钼矿区复式岩体地质及其成矿特征—来自年代学、氧逸度和地球化学的约束 [J]. 岩石学报,33(7):2018-2036.

责任编辑:黄春梅