

滇西保山地块北端温泉断裂构造 - 岩浆带成矿系统以及铍矿化特征初探

——以泸水县石缸河锡钨铍矿床为例

张金学¹, 徐 恒², 姜永果², 罗洪昌²

¹云南省有色地质局三一〇队, 云南 大理

²云南省有色地质局, 云南 昆明

Email: 1286010953@qq.com

收稿日期: 2021年5月17日; 录用日期: 2021年6月4日; 发布日期: 2021年6月11日

摘 要

复合造山和叠加转换共同导致了三江特提斯域复杂的构造岩浆活动和复合成矿系统, 构造动力体制转换是成矿的根本驱动。温泉断裂是研究区内的主要导岩、导矿构造, 区内成矿系统以斑岩 - 矽卡岩型 Cu-Fe-Pb-Zn 和云英岩型 Sn、W 矿床为主, 成矿与燕山晚期中特提斯洋的关闭以及新特提斯洋的俯冲消减引发的酸性岩浆期后热液系统关系密切, 形成于后碰撞陆内伸展构造环境。研究认为温泉断裂构造 - 岩浆带内岩浆热液型 Sn-W-Be 成矿系统与矽卡岩型/岩浆热液型 Fe-Pb-Zn-Cu-Ag-Hg 多金属成矿系统属于相同构造岩浆热事件在不同标高和不同围岩环境的成矿响应, 为复合成矿作用的产物。通过复合成矿系研究探索构建了温泉断裂构造 - 岩浆带成矿模式, 认为进一步探寻燕山晚期 - 喜山期花岗岩体是后续找矿的关键环节, 与酸性岩有关的 Pb、Zn、Sn、W、Be 多金属成矿系列是区内的重点找矿方向; 研究显示石缸河锡钨铍矿床的铍矿化在空间上依附于海西期蚀变辉长辉绿岩脉 (307.9 ± 3.2 Ma), 但成矿年龄集中在 68~56 Ma, 与燕山晚期酸性岩浆期后热液关系密切, 提出石缸河以北的外岩房一带是寻找铍矿资源的首选靶区; 温泉断裂北东侧的松坡、光山、中和一带, 以及温泉断裂南西侧核桃坪一带其深部具有寻找与晚期酸性岩体相关的钨铍矿的找矿远景。

关键词

铍矿化特征, 成矿系统, 温泉断裂构造 - 岩浆带, 保山地块

The Tectono-Magmatic Metallogenic System of Wenquan Fault Zone in the Northern End of Baoshan Massif, Western Yunnan, and the Characteristics of Beryllium Mineralization

—A Case Study of the Shiconghe Tin-Tungsten-Beryllium Deposit in Lushui

Jinxue Zhang¹, Heng Xu², Yongguo Jiang², Hongchang Luo¹

¹Yunnan Provincial Bureau of Non-Ferrous Geology Team 310, Dali Yunnan

²Yunnan Provincial Bureau of Non-Ferrous Geology, Kunming Yunnan

Email: 1286010953@qq.com

Received: May 17th, 2021; accepted: Jun. 4th, 2021; published: Jun. 11th, 2021

Abstract

Complex Orogeny and superimposed transformation together lead to complex tectono-magmatic activities and complex metallogenic systems in Tethys, Tam Giang. Wenquan fault is the main rock-guiding and ore-guiding structure in the study area. The metallogenic system is dominated by porphyry-sicarn type Cu-Fe-Pb-Zn and Yunbolite type Sn-w deposits, the mineralization is closely related to the post-acidic Magmatic hydrothermal system triggered by the closure of the middle Tethys Ocean in the late Yan Mountains and the subduction of the new Tethys Ocean, and formed in the post-collision intracontinental extensional tectonic environment. It is considered that the magmatic hydrothermal Sn-W-Be metallogenic system in the Wenquan fault-magmatic Belt and the sicarn/magmatic hydrothermal Fe-Pb-Zn-Ag-Hg polymetallic metallogenic system belong to the same tectono-magmatic thermal events at different levels and in different surrounding rock environments, it is the product of composite mineralization. The metallogenic model of Wenquan fault structure-magmatic belt is constructed through the study of composite metallogenic series. It is considered that further exploration of Late Yanshan-Himalayan granitoids is the key link of subsequent ore prospecting, and Pb, Zn, Sn, W, Be polymetallic metallogenic series related to acid rocks is the key ore prospecting direction in the area. The study shows that the beryllium mineralization of the Shiconghe tin-tungsten-beryllium deposit is spatially attached to the Hercynian altered Gabbro diabase vein (307.9 ± 3.2 Ma), but the ore-forming ages are concentrated at 68~56 Ma, which is closely related to the post-acid Magmatic Hydrothermal System of the late Yan Mountains, it is suggested that the outer Yanfang area north of Shikong river is the preferred target for beryllium mineral resources, and the Songpo, Guangshan and Zhonghe areas on the east side of the hot spring fault, the deep part of Hetaoping area on the south-west side of Wenquan Fault have the prospect of searching for tungsten-beryllium ore related to late acid rock body.

Keywords

Beryllium Mineralization Characteristics, Metallogenic System, Hot Spring Fault Structure-Magmatic Belt, Baoshan Block

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

滇西云龙锡矿带北起志本山、石缸河、南经铁厂、光山长达 30 千米，位于滇泰锡矿带北端，东西为

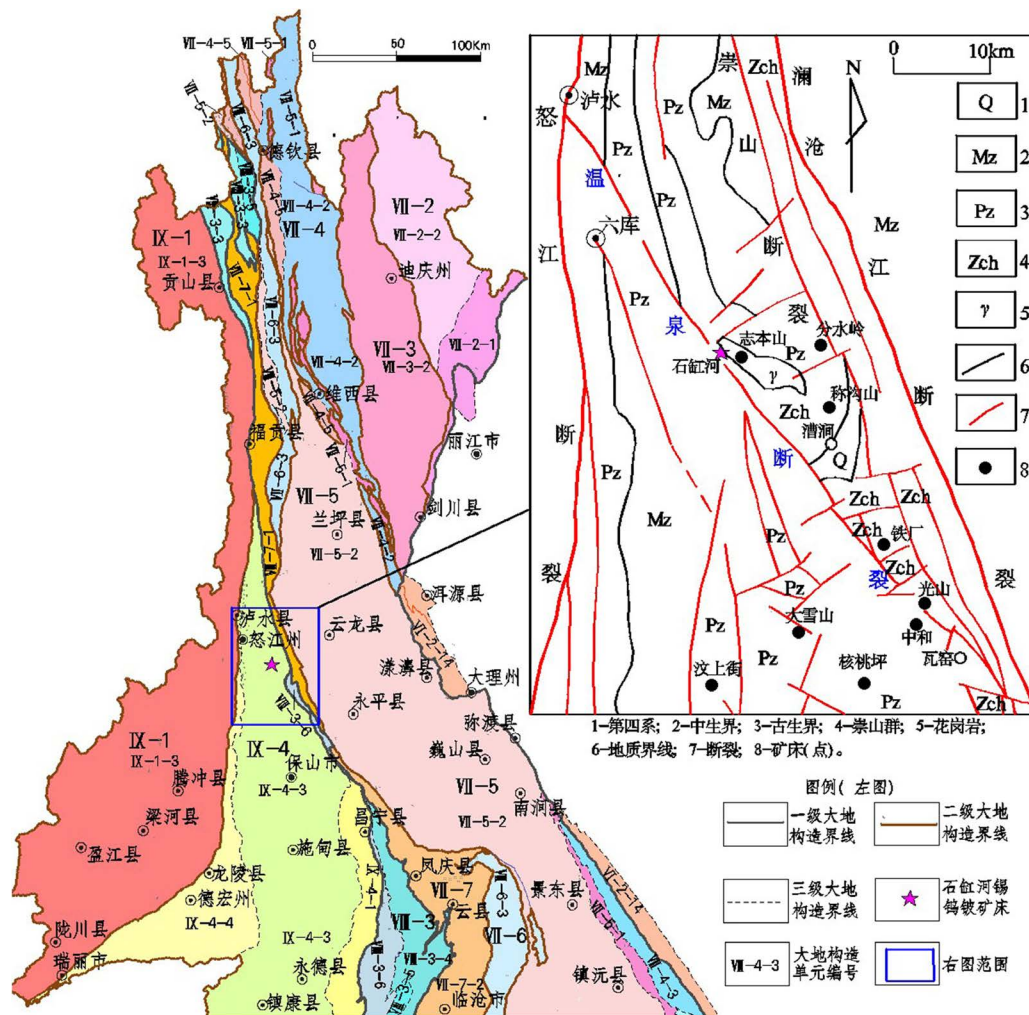
澜沧江断裂和温泉断裂切割的三角地带,受控于北西向温泉断裂构造-岩浆带。属于三江锡矿域的中带,向北延至西藏类乌齐,向南经昌宁、西盟、景洪,沿澜沧江西侧呈线形展布,与从泰国清迈沙蒙、他念他翁山、乌太他尼、潘甘岛、宋卡到马来西亚吉保山脉的东南亚锡矿域的中带相连[1]。沿温泉断裂带的南东侧分布有大雪山铜镍矿,以及核桃坪铅、锌多金属矿集区。前人对沿温泉断裂构造-岩浆带分布的石缸河锡钨矿床、铁厂锡矿床、大雪山铜镍矿床、核桃坪铅锌矿床、金厂河铅锌矿床等典型矿床开展了系统的研究,对区内成矿地质条件、构造环境、地球化学、岩石同位素、包裹体、矿物学及成矿作用等方面积累了丰富的科研成果。但总体上多聚焦于矿床的某一侧面研究的多,而从区内整体成矿系统的研究方面还存在不足;单一矿种研究的多,多矿种结合起来研究的少;尤其对区带内出现的稀有金属铍矿化的研究尚未引起足够重视。

三江独特地域优势成当今大陆成矿研究的国际前缘,近年来三江特提斯复合造山与成矿新理论研究成果丰硕。随着新资料的积累以及找矿实践与成矿理论研究的互馈,复合成矿系统理论已证实是成矿理论研究和找矿突破的重要途径[2]。本文依托科技部《第二次青藏高原综合科学考察研究项目》(编号:2019QZKK0802-03-2)。在充分收集前人工作成果的基础上,结合多年在滇西三江地区的勘查实践,以复合成矿系统理论为指导,针对温泉断裂构造-岩浆带开展较系统的整理与调查研究。以滇西三江特提斯演化及相伴成矿系统为主线,试图将研究区内一系列单个矿床融入温泉断裂构造-岩浆带成矿系统,建立区带成矿模式,对推进区带的找矿工作具有实践指导意义。并以泸水县石缸河锡钨铍矿床为例,对铍矿化规律进行初步研究,对区带内的铍矿战略性矿产资源的找矿具有积极示范作用。

2. 区域成矿地质背景

温泉断裂构造-岩浆成矿带呈北西展布夹持于怒江断裂和澜沧江断裂之间,大地构造位置由西向东横跨冈底斯-喜马拉雅造山系之保山地块,以及班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带和羌塘-三江造山系之崇山-临沧地块三个构造单元,属于特提斯成矿域三江(造山带)成矿省(图1)[3][4]。西南三江特提斯造山带地处全球特提斯构造带东段以及青藏高原东南侧,经历了古生代与中生代原-古-中-新特提斯洋闭合引发的增生造山和新生代印度-欧亚大陆汇聚导致的碰撞造山过程,复合造山作用突出[5]。其中滇西处于挤压、褶皱最为强烈的地带,在朵仲至泸水长约400 km的一段,构造线-地质体挤压十分紧密,形成一个中间紧密而两端撒开呈亚铃状或蜂腰状的“构造结”。并产生密集的线状弧形断裂系,成为重要的岩浆-变质-成矿带[6]。以维西县为界西南三江特提斯增生造山带可分为南北两段,南段包括腾冲-保山与思茅两个微地块,东临扬子地块,依次由昌宁-孟连和哀牢山两条缝合带分隔。其中昌宁-孟连洋为西南三江古特提斯造山带中典型的古特提斯洋,将东部思茅地块和西部保山地块分开。该缝合带北部与龙木措-双湖缝合带相衔接,南部与泰国清迈-茵他依缝合带相连,构筑了冈瓦纳大陆与劳亚-泛华夏大陆的分界线[5][7][8]。三江造山带是一种由俯冲、碰撞兼走滑的多阶段演化的复合造山带,也是一个弧-陆,弧-弧碰撞的造山带[9]。三江特提斯成矿域内翻天覆地的陆洋转换和盆-山耦合、异常活跃的壳幔物质-能量交换及岩浆-流体活动、异常发育的断裂网络系统和汇水盆地系统,造就了丰富的金属矿产资源[10]。其中燕山期花岗岩浆活动与成矿作用在西南特提斯构造域广泛发育,东部沿义敦岛弧、扬子板块西缘延伸至滇琼缝合带(如个旧Sn矿床成矿岩体),西部分布于保山-腾冲地块(如铁厂Sn矿床成矿岩体),其远离特提斯俯冲带,可能为陆内造山背景下形成的大规模花岗岩省,并叠加于早期特提斯构造-岩浆带之上[5][11]。构造体制转换及叠加复合作用,不仅使区内刚性陆块群遭受破坏、改造,而且使早期增生造山与晚期碰撞造山发生叠加转换,引起强烈的物质循环和矿质集聚,使大批矿床叠加改造、破坏再生,构成独具特色的叠加复合成矿系统。构造动力体制转换是成矿的根本驱动,成矿参数临界转换是矿床形成的基本条件,构造-流体耦合是重要成矿机制[2][7][8]。

保山 - 中缅马苏地块是冈瓦纳大陆中裂离出的微大陆, 其东、西两侧先后发生了古、中特提斯洋壳俯冲作用, 形成昌宁 - 孟连缝合带和怒江缝合带, 并在该微地块东西两侧边缘形成岩浆岩带和锡矿带[12]。伴随中、新特提斯洋的消减与增生造山作用, 滇西西部地区发育典型的增生 - 碰撞造山岩浆热液型复合成矿系统。早期增生造山岩浆热液矿床集中发育于早白垩世(~120 Ma), 形成矽卡岩型 Fe-Pb-Zn 多金属矿床, 主要有腾冲滇滩 Fe 矿床, 保山核桃坪、金厂河及镇康芦子园 Fe-Pb-Zn 多金属矿床。晚期的碰撞造山岩浆热液矿床形成于晚白垩世 - 古近系(80~40 Ma), 以云英岩型 Sn-W 矿床为主, 代表性矿床有腾冲来利山 Sn 矿床、小龙河 - 大松坡 Sn-W 矿和云龙 Sn 矿床等[13]。



一级构造单元: VI 扬子陆块区系, VII 羌塘 - 三江造山系, VIII 班公湖 - 双湖 - 怒江 - 昌宁 - 孟连对接带, IX 冈底斯 - 喜马拉雅造山系; 二级构造单元: VI-2 上扬子古陆块; VII-2 甘孜 - 理塘弧盆系, VII-3 中咱 - 中甸地块, VII-4 西金乌兰湖 - 金沙江 - 哀牢山结合带, VII-5 昌都 - 兰坪 - 思茅地块, VII-6 乌兰乌拉 - 澜沧江结合带, VII-7 崇山 - 临沧地块; VIII-3 班公湖 - 怒江结合带; IX-1 冈底斯 - 察隅弧盆系, IX-4 保山地块; 三级构造单元: VI-2-14 哀牢山变质基底杂岩(Pt_1); VII-2-1 甘孜 - 石鼓蛇绿混杂岩(P_2-T_3), VII-2-2 义敦 - 沙鲁里岛弧(T_3); VII-3-2 中甸地块(T), VII-4-2 金沙江蛇绿混杂岩(C-T), VII-4-3 哀牢山蛇绿混杂岩(C-P), VII-4-4 墨江被动陆缘(S-P), VII-4-5 德钦蛇绿混杂岩(C-P); VII-5-1 江达 - 维西 - 绿春陆缘弧(P_2-T), VII-5-2 昌都 - 兰坪 - 思茅地块(S-T); VII-6-3 澜沧江俯冲增生杂岩(P_2-T); VII-7-1 碧罗雪山 - 崇山岩变质基底杂岩(T-K), VII-7-2 临沧岩浆弧(P-T); VIII-3-3 怒江蛇绿混杂岩(P_2), VIII-3-4 双江 - 西定陆壳残片(Pt_2), VIII-3-5 澜沧俯冲增生杂岩(C-P), VIII-3-6 昌宁孟连蛇绿混杂岩(P_2); IX-1-3 斑瓦 - 腾冲岩浆弧(J-K-Q), IX-4-1 耿马被动陆缘(P_3-Pz_1), IX-4-2 西盟基底变质杂岩(Pt_1), IX-4-3 保山陆表海($e-T_2$), IX-4-4 潞西被动陆缘($Z-T_2$)。

Figure 1. Division map of tectonic units in northwest Yunnan, and regional geological sketch map of the study area (based on data potential evaluation report [3] (left) and data [4] (right)-adapted)

图 1. 滇西北大地构造单元划分图, 以及研究区区域地质简图(据资料潜力评价成果报告[3] (左)及资料[4] (右)-改编)

3. 滇西部地区三江特提斯构造演化及主要成矿系统

3.1. 原特提斯旋回

“三江”地区的变质基底属于元古代, 普遍经历吕梁运动、晋宁运动的强烈变质-变形与混合岩化, 并于晋宁运动前固结及褶皱。表现为呈线性分布的多个变质地体, 包括高黎贡山变质地体、西盟-勐统变质地体、崇山-澜沧变质地体、石鼓-巨甸变质地体、点苍山-哀牢山变质地体。其原岩建造以复理石建造、碳酸盐岩建造夹火山岩建造为特征。早古生代腾冲地块和保山地块是缅甸马微大陆的组成部分, 思茅地块为扬子微大陆的一部分[14]。

澜沧江-昌宁孟连洋从新元古代至早三叠世开启, 跨越了原特提斯和古特提两个时期。早寒武世(约 500 Ma), 原特提斯洋(龙木措-双湖-昌宁-孟连洋)开始俯冲消减。南段昌宁-孟连洋向西俯冲于保山-腾冲地块之下, 并于早古生代末期闭合, 导致华南板块、印支地块和东羌塘地块拼贴增生于冈瓦纳大陆边缘, 并产生一系列岩浆活动[2] [5] [15]。铜厂街蛇绿混杂岩 K-Ar 等时线年龄为 385 Ma; 澜沧江西侧的碧罗雪山和志本花岗岩长岩体的同位素定年为海西早期的年龄(400 Ma±) [14]。原特提斯旋回洋盆发育与演化时期, 形成了以大坪掌 Cu-Pb-Zn-Ag 矿床为代表的 VMS 型以及以惠民 Fe 矿床为代表的条带状含铁建造(BIF)型 Fe 成矿作用。研究区内形成了沉积型漕涧分水岭 Fe 矿床, 系加里东期浅海相沉积形成铁矿源层(BIF), 经过区域变质富集成矿, 受燕山期志本花岗岩体侵入带来的黄铜矿和方铅矿等矿化所叠加[2] [7] [15]。

3.2. 古特提斯旋回

晚古生代, 第一次联合大陆解体, 开始古特提斯洋的演化。南段构造域古特提斯洋呈现了昌宁-孟连主洋与金沙江-哀牢山支洋[5] [12]。昌宁-孟连洋在早泥盆世-中泥盆早期处于原特提斯向古特提斯的转换过渡时期, 可能发生局部的陆陆碰撞或者存在着原特提斯残余洋; 中泥盆世古特提斯洋在原有的残余洋基础上开始扩张, 并逐渐发展为分隔南部亲冈瓦纳陆块和北部亲扬子陆块之间的大洋; 晚石炭世末, 古特提斯洋消减伊始, 昌宁-孟连洋东向俯冲, 金沙江-哀牢山洋西向俯冲; 中三叠世, 昌宁-孟连洋及金沙江-哀牢山洋闭合, 保山地块、思茅地块与华南地块拼合, 并在澜沧江一带形成大面积分布的临沧古岛弧花岗岩带和澜沧江陆源花岗岩带[2] [5] [15]。洋盆消减完毕后, 发生陆陆碰撞造山作用, 长兴期晚期保山-耿马被动大陆边缘与临沧弧地体的相对突出部分首先发生碰撞, 由此拉开了澜沧运动的序幕。造山过程从长兴期末开始, 一直持续约七千万年之久。昌宁-孟连带的主体部分完全缺失中三叠世以后的沉积, 直到中新世才开始出现一些小型的山间盆地[16]。印支期受古特提斯洋俯冲-闭合事件影响, 岩浆活动活跃, 滇西昌宁-孟连带癞痢头山、云岭和耿马酸性岩体分别侵位于 231.5 ± 3.6 Ma、 231.4 ± 3.8 Ma 和 230.1 ± 2.8 Ma [17]。晚三叠世至早侏罗世整个昌宁-孟连带都处于强烈的隆升期。中侏罗世其东西两侧普遍发育以花开左组等为代表的红色碎屑沉积, 标志着古特提斯演化阶段的彻底结束和一个全新构造阶段的开始[16]。

古特提斯旋回成矿作用涵盖了海西期 VMS 型成矿系统, 以及印支期 VMS 型和斑岩-夕卡岩成矿系统两个重要形成时期。以布朗山和松山 Sn 矿床为代表的热液脉型 Sn 多金属成矿作用, 发育于临沧-景谷火山岩浆带边部, 与昌宁-孟连古特提斯洋闭合后造山作用导致的加厚地壳重熔形成的花岗岩侵入相关[2] [15]。昌宁-孟连古特提斯洋在演化过程中, 发生了多幕 VMS 型成矿作用, 主要生成于古特提斯大洋扩张的背景之下, 代表性矿床包括: ① 铜厂街 Cu 矿床, 属产于扩张洋中脊背景的塞浦路斯(Cyprus)型矿床; ② 老厂 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床, 为产于洋岛火山环境下的别子(Besshi)型矿床[13]。

3.3. 中特提斯旋回

中特提斯缝合带怒江-碧土洋, 系班公湖-怒江洋之东段, 南西为冈底斯地块, 北东为西羌塘地块, 为中特提斯主洋。仅发现中三叠世晚期至晚三叠世早期放射虫硅质岩记录。蛇绿岩套时代为中二叠世末

- 早白垩世(259~132 Ma)。俯冲型岩浆岩发育于冈底斯地块北东部,为早侏罗世-早白垩世(198~130 Ma),碰撞型岩浆岩时代为早白垩世(132~109 Ma) [5] [15]。班公湖-怒江洋盆开启于早二叠世,致使腾冲-保山地块和西羌塘地块分别从澳大利亚大陆和印度大陆边缘裂解并向北漂移。中三叠世,班公湖-怒江洋开始东西双向俯冲消减,至早白垩世闭合,拉萨与西羌塘地块拼合,进入陆陆碰撞造山阶段。发育有早侏罗世-早白垩世具岛弧性质的花岗岩、早白垩世碰撞型花岗岩及中晚三叠世S型花岗岩[2]。燕山晚期(135 Ma),随着板块俯冲碰撞造山作用的影响,形成腾冲岩浆弧,腾冲地块处于隆升阶段,缺失侏罗系-白垩系[12]。中特提斯洋的闭合经历了三阶段演化过程:120 Ma,保山和腾冲地块拼合,中特提斯洋板片断离;110~90 Ma,保山和腾冲地块持续汇聚,岩石圈增厚;90 Ma增厚岩石圈地幔发生拆沉,软流圈上涌[13]。洋板片俯冲到陆缘增生构造体制转换(约120 Ma):中特提斯洋俯冲→洋板片断离转换。早白垩世怒江洋俯冲闭合,拉萨和腾冲地块拼贴增生至欧亚大陆南缘,随后洋板片断裂且软流圈上涌。构造体制由洋片俯冲挤压过渡为陆内伸展,岩浆岩由以岛弧型岩浆岩为主过渡为后碰撞花岗岩类为主,成矿作用由俯冲斑岩型Cu-Au成矿作用转变为夕卡岩型Cu-Pb-Zn-Au成矿作用[2]。

中特提斯成矿系统主要包括:①以保山地块北部的大雪山Cu-Ni硫化物矿床为代表的岩浆熔离型Ni-Cu成矿系统,发育于中特提斯裂谷盆地,与伸展背景下的基性超基性岩浆活动相关;②岩浆热液型Fe-Cu-Pb-Zn-Au成矿作用,与中特提斯洋闭合碰撞造山后地壳减压伸展作用导致的中酸性岩浆活动相关。以保山地块北部隆阳区核桃坪Fe-Cu-Pb-Zn-Au矿集区和南部镇康芦子园Fe-Pb-Zn矿集区,以及发育于腾冲地块的滇滩Fe矿床为代表[2] [5]。

3.4. 新特提斯旋回

新特提斯洋即印度河-雅鲁藏布江洋,开启于中三叠世(约230 Ma),中侏罗-古新世向北俯冲,始新世初期(约55 Ma)洋壳消减完毕,印度大陆与欧亚大陆碰撞拼贴。该带放射虫硅质岩断续记录了中三叠世-古新世时段,古新世放射虫硅质岩显示出残留洋特征。发育了时代集中于早白垩世(128~120 Ma)的俯冲型蛇绿岩套,以及与晚白垩世(95~80 Ma)冈底斯岩基。晚白垩世-古新世(78~52 Ma)俯冲型岩浆岩广泛分布于腾冲地区。新特提斯洋闭合于50 Ma左右[2] [15]。新特提斯洋的闭合造成了印度、阿拉伯板块与欧亚大陆的碰撞,形成数千公里的缝合带,从土耳其西部塞浦路斯向东经过伊朗的扎格罗斯(Zagros)地区并与雅鲁藏布江缝合带相接。特提斯构造带此后经历大陆碰撞造山,碰撞造山与增生造山作用的显著复合,地壳与地幔、岩石圈与软流圈之间大规模物质与能量交换,岩石圈结构被强烈改造。与主洋盆发生北东向俯冲造山作用相伴发育一系列与岩浆活动相关的Sn-W-Mo-Ag-Pb-Zn多金属成矿作用,保山-腾冲地块以新岐Sn矿床、小龙河Sn矿床和云龙Sn矿床等为代表[2] [5]。

3.5. 复合成矿作用与成矿动力机理

特提斯洋演化过程呈现出了极富规律的耦合现象。古特提斯洋自中泥盆世开启,并逐渐扩张成大洋,石炭纪时洋盆规模达到顶峰,晚石炭世-早二叠世开始明显俯冲消减。古特提斯俯冲伊始时间与中特提斯(怒江洋)开启时间(早二叠世)基本一致。古特提斯洋(昌宁-孟连洋)的俯冲也导致了晚石炭世-晚二叠世弧后盆地的形成。古特提斯洋于中三叠世闭合,开始陆陆碰撞造山作用,其与中特提斯俯冲伊始时间,以及新特提斯洋的开启时间很好的吻合。中特提斯洋闭合于早白垩世,与新特提斯洋俯冲高峰期的时代基本一致,反映大洋俯冲消减为中国西南特提斯微地块漂移运动的驱动机制[5] [15]。复合造山和叠加转换共同导致了三江特提斯域复杂的成矿演化。主要复合成矿系统,包括昌宁-孟连带增生碰撞造山海底喷流(VMS)型Pb-Zn-Cu+岩浆热液型Mo-Cu、腾冲-保山地块增生+碰撞造山岩浆热液型Cu-Mo-Sn-W、兰坪盆地碰撞造山盆地卤水(MVT)型Pb-Zn+岩浆热液型Cu-Pb-Zn-Ag和扬子西缘碰撞造山富碱斑岩Au-Cu-Mo+造山型Au [2] [13]。

滇西主要锡矿床类型为云英岩型、热液脉型和矽卡岩型；燕山晚期 - 喜马拉雅早期花岗岩体与锡矿关系最为密切；含锡岩浆岩主要是富硅、富碱、基性组分低及高分异的深层重熔型花岗岩；同位素年龄资料显示，锡矿床主要形成于 110~50 Ma，与中 - 新特提斯封闭碰撞时期吻合[12]。燕山期一直以来被认为是三江特提斯增生造山作用向陆陆碰撞造山作用的转换时期。燕山期岩体成矿年龄集中于 80 Ma，以 Mo-W 为主；保山 - 腾冲成矿带主体发育燕山期和喜马拉雅山期与 S 型花岗岩有关矽卡岩型 Cu-Fe-Pb-Zn 和矽卡岩 - 云英岩型 Sn-W-稀有金属矿床，成矿时代主要峰值为 120 Ma、75 Ma 和 55 Ma，多期矽卡岩 - 云英岩型成矿作用存在复合现象；与新特提斯洋片俯冲有关的云英岩型来利山矿床，Sn 矿体产于断层破碎带内，矿石包含残余的块状硫化物，表明云英岩型 Sn 矿体复合于早期矿体之上，属于机械多期复合型成矿系统[5]。总体上，中 - 新特提斯成矿系统以斑岩 - 矽卡岩型 Cu-Fe-Pb-Zn 和云英岩型 Sn、W 矿床为主[13]。

4. 温泉断裂构造 - 岩浆带地质特征

4.1. 地层

研究区主体部分处于保山地块北端，南东部因温泉断裂并入北西向瓦窑河 - 云县断裂跨入昌宁孟连蛇绿混杂岩及崇山岩变质基底杂岩带。保山地块长期处于特提斯洋和碰撞造山演化环境，构成“两被动陆缘夹一盆”的构造格局，东西缘被动陆缘带内发育有与侵入岩有关的锡多金属矿床。出露最老的地层为寒武系上统，由下而上有核桃坪组、沙河厂组、保山组，岩性主要为一套碎屑岩夹碳酸盐岩建造，之上依次出露有奥陶系上统、志留系下统的仁和桥组、泥盆系、石炭系中统、二叠系、侏罗系，缺失了三迭系。中生代，保山地块两侧为前陆拗陷，中间为前陆隆起，造山作用由两侧山脉向地块内部推进[18]。在西部，从高黎贡山向东，总体上形成一个前陆式褶皱冲断带，发育一系列断面西倾的叠瓦状断层。在东部，除柯街主断裂向西逆冲推覆外，东部大多数断层为断面倾向西，向东逆冲的逆冲断层，形成叠瓦状，褶皱轴面也向东倒，形成一个前陆反向褶皱冲断带。在保山地块北部尖灭端，由于东西两侧的对冲挤托，构造变形明显较地块中南部强烈，不仅断裂发育，褶皱也变的紧闭，处于三江“蜂腰状”构造结的收缩端[9]。

研究区内主要为崇山岩群，锆石 U-Pb: 922 Ma [9]。由一套浅一深变质岩组成，岩石糜棱岩化强烈，变质程度达绿片岩相 - 角闪岩相。在断裂发育区有混合岩及混合花岗岩产出。该岩系上覆岩层为下寒武系核桃坪组。崇山岩群地层厚度大于 4300 米，分为上、下两段。上段由大理岩、泥钙砂质片岩、板岩互层产出，其下部在区域变质的基础上混合岩化，由条痕条纹状花岗质混合岩和长英质粒状混合岩组成，并有长石脉、伟晶岩脉等贯入。该段为铁厂锡矿主要锡矿化层位，厚 863 米。下段由混合片麻岩、变粒岩、混合花岗岩组成，厚 3495 米。

4.2. 构造

区域上构造活动频繁，在地史发展过程中由于东西向挤压作用，形成了澜沧江断裂、崇山断裂、漕涧断裂、温泉断裂等多条长期活动的主要断裂。并伴有一系列与主要断裂呈“入”字型相交的次级构造，形成了澜沧江断裂 - 温泉断裂逐级控制、控岩、控矿的北西向构造格局。

1) 温泉断裂特征

温泉断裂呈北西向展布，北起怒江，经石缸河、铁厂，至瓦窑以南与澜沧江深断裂呈“入”字型交接，全长五十七公里。断裂走向 30°~50°，总体倾向北东，倾角 50°~80°，整体为右行压扭性，局部表现为左行扭动，具有多期复合断裂的特点。断裂南西侧为变质较浅或未变质的古生界和中生界，北东侧为变质较深的崇山群。据分析测试资料，温泉断裂内的构造岩含锡量为 40×10^{-6} ，个别高达 120×10^{-6} ~369

$\times 10^{-6}$, 同时伴生有钨、钼、铌、锆等微量元素及挥发份硼等, 不仅表明它有矿化的特点, 而且有花岗岩后期热液活动的痕迹。石缸河锡钨矿区属云龙锡矿带北部, 夹持于漕涧断裂(铁厂称为绿阴塘断裂)与温泉断裂之间, 在平面上呈北宽南窄的三角形。由于多期次的构造活动, 在三角形地块内形成了构造-变质-混合岩-岩浆带, 相应地形成了一系列的锡钨矿床及矿化点, 其中有大型的铁厂锡矿床, 中型的石缸河锡钨矿床以及一些钨锡矿点[3] [19]。

2) 崇山岩群西侧韧性剪切带特征

该剪切带即为崇山岩群西侧边界断裂, 向北随着崇山岩群尖灭而与崇山群东侧的梅里雪山断裂合而为一。向南到凤庆、云县一带作为崇山岩群与澜沧岩群的分界断裂。在 1:20 万永平幅、保山幅分别叫作崇山西侧大断裂和撒寨断裂及沸水街断裂。沿断裂带均发育有糜棱岩, 糜棱岩带宽数百米至几千米。卷入变形构造带的变质地层主要为崇山岩群、大勐龙岩群和澜沧岩群。在云龙铁厂侵位于崇山岩群云母石英片岩中的燕山期花岗岩同围岩一道受到韧性剪切, 形成长英质糜棱岩, 具碎斑构造, 结晶拖尾指示东盘向南右行走滑, 但其中伟晶岩脉和细晶花岗岩脉未糜棱岩化。该韧性剪切带有多次活动, 多种成因, 既有逆冲推覆, 又有左行和右行走滑[9]。

3) 褶皱构造

区内崇山岩群至古生代地层为连续沉积, 其间无明显的构造运动。在下二叠世后, 发生强烈褶皱, 受褶皱的岩层包括崇山岩群至二叠系。金月亮向斜南延至铁厂, 由于断裂的影响和槽谷谷地的被剥蚀, 构造形态显得很不完整。温泉断裂南西侧的地层也组成一系列轴向为 NNW-SSE 的向斜与背斜[20]。

4) 保山-临沧经向构造体系的发展特点

在滇西锡矿带分三个构造区, 西部为芒市弧形构造; 中部以保山-西盟南北向的断褶带和临沧南北向的花岗岩带及变质带为主体的南北构造带, 呈楔形插入到东、西两个构造区之间, 平面上像“个”字; 东部以澜沧江断裂带为主体, 组成北西向的歹字型构造区。温泉断裂构造岩浆带处于滇西锡矿带的中部构造区。海西期地壳整体向南滑移, 出现北西向的构造线, 并改造了早已形成的南北向断裂, 导致经向构造体系内部有石炭-二迭纪的基性火山喷发; 海西晚期沿澜沧江断裂带产生花岗岩化作用, 临沧花岗岩基开始形成。印支期, 地壳整体强烈向南滑移, 歹字型构造经强烈的褶皱而定型。由于北北西向的断裂和南北向断裂斜接复合, 使经向构造体系东部边缘产生强烈的归并改造, 不仅沿澜沧江断裂带产生强烈的花岗岩化作用, 使临沧花岗岩基最后形成, 还产生强烈的变质作用使澜沧岩群及崇山岩群再次遭受变质, 并出现局部的混合岩化。在澜沧江断裂带右行压扭的活动中, 还有三迭纪强烈的火山活动形成了延展很远的边缘火山岩带。燕山中晚期由于东西向的挤压歹字型构造的北西向断裂受到反扭的改造(左行), 在与经向构造体系复合的北东边缘, 从碧江-漕涧-昌宁-公郎一带, 形成一系列燕山晚期(包括部分喜山期)的小型侵入体, 组成一个北西向展布的花岗岩体[21]。

4.3. 岩浆岩

复合造山和叠加转换共同导致了三江特提斯域复杂的构造岩浆活动。碰撞缩短增厚到伸展减薄的构造转换构成大型碰撞山链造山作用的重要构造循环, 调制着中-下地壳物质的变质反应、深熔作用和构造变形等关键深部作用的特征、类型和动力学机理[22]。研究区内岩浆岩受区域性断裂控制而成带状分布, 岩性以基性和酸性岩为主, 具多期多阶段的特点。如: 志本山复式花岗岩体主要由加里东晚期(472.7 Ma)片麻状黑云母二长花岗岩、黑云母或二云母钾长花岗岩及燕山-喜马拉雅期(181~40.2 Ma)二云母-白云母碱长花岗岩、花岗伟晶岩和花岗细晶岩等所组成[3]。与锡、钨、铍成矿有直接关系的, 主要为燕山-喜马拉雅旋回岩浆活动。根据其物源、成岩机制、成岩环境及岩石系列等因素, 可将滇西花岗岩划分为准原地再生花岗岩、高侵位重熔花岗岩、断裂变质糜棱花岗岩、中酸性浅成侵入花岗岩及碱性花岗岩五

种类型。滇西主要锡矿床,与高侵位重熔花岗岩类有关,成矿作用主要受花岗岩侵入分异、气热蚀变的控制。锡石伟晶岩、细晶岩型多产于岩体边缘及外接触带,含锡细晶岩见于沪水石缸河,锡石与绿柱石共生[23]。北西向的志本山背斜,背斜轴部由志本山复式花岗岩体及寒武系地层组成。在志本山复式花岗岩体内产出有志本山锡石-电气石-石英脉型(或锡石-云英岩型)锡矿床;志本山岩体北西端接触带有石缸河锡石-云英岩型、(锡石)-白钨矿-绿柱石-云英岩型含锡、铍的钨矿床。保山核桃坪一带,以寒武系为核部的背斜构造区,物探推断有隐伏中酸性岩体存在,区带内钻探已证实深部存在花岗岩体,矽卡岩化普遍,有铁铜铅锌多金属矿成矿。

海西期岩浆活动有喷溢和侵入两种形式:前者为玄武岩,分布于温泉断裂以西;后者为辉绿辉长岩,受断裂控制。区内火山岩主要有二叠系大陆板内溢流玄武岩组合,赋存于上统卧牛寺组中,为一套裂隙式爆发-喷溢相与爆发-沉积相组成的基性火山岩系。以致密状玄武岩、杏仁状玄武岩为主,少量安山玄武岩。以熔岩为主夹火山碎屑岩,局部夹沉积岩。火山岩厚度 350~450 m [18]。与玄武岩同期基性侵入岩体辉长岩分布于九十九塘南西约 900 m,由五条北西向小岩脉构成,脉体长 50~1500 m,宽 1~30 m,侵入于寒武系核桃坪组中。细晶辉长岩呈灰绿色,具变余细晶结构,块状构造。岩石完全次闪石化,石缸河的钨铍矿体与基性岩脉在空间上有依附关系[24]。保山地块晚古生代溢流玄武质岩石在空间上与辉绿岩和基性-超基性侵入岩体密切共生,据地层接触关系以及系统的辉绿岩/辉长岩侵入体锆石 U-Pb 定年结果显示保山地块溢流玄武质岩石形成于晚石炭世-早二叠世(~310~280 Ma),这与冈瓦纳超大陆北缘发生裂解、中特提斯洋盆打开的时间重合。溢流玄武质岩石和辉绿岩微量元素配分显示轻稀土元素富集和 Nb-Ta 元素亏损的特征,与大陆弧玄武岩和大陆溢流玄武岩相似,属冈瓦纳超大陆北缘的大陆裂解事件的岩浆产物[25]。冈瓦纳大陆北缘早二叠世(300~280 Ma)发育基性-超基性岩浆活动,揭示岩浆岩由早期(300 Ma)岛弧型向晚期(290 Ma)裂谷型的变化[13]。出露于温泉断裂以西地区大雪山-夜恩山岩体群呈岩盆、岩盘、岩株、岩脉。岩性为橄榄岩、辉橄岩、辉石岩、橄榄辉石岩、辉长岩、辉长辉绿岩,具铜、镍矿化及铁、钴弱矿化。

辉绿岩-闪长岩-花岗斑岩主分布于保山-施甸地区,辉绿岩侵位的最新地层为三叠系上统湾甸坝组,岩石化学、岩石地球化学特征与二叠纪的辉绿岩也有一定程度的差异,表现为高铝、富钾的特点,核桃坪矿区辉绿岩脉锆石 SHRIMP U-Pb 得到岩浆侵位结晶年龄为 195 ± 5.3 Ma,属于印支早期[26]。在保山核桃坪、沙河厂、西邑、东山及镇康芦子园等大、中型矿床内均发育此类岩石构造组合[18]。

5. 研究区主要成矿系统

温泉断裂构造-岩浆带处于保山地块以及崇山-临沧地块北端,温泉断裂以西分布有海西期与基性-超基性岩有关的岩浆熔离型铜镍硫化物矿(大雪山铜镍矿);燕山期形成了矽卡岩型铅锌铁多金属矿床(核桃坪、毛竹棚、金厂等);温泉断裂与澜沧江断裂所夹持地带中则分布有与中酸性岩有关的锡钨铍矿(石缸河、铁厂、志本山等),热液、矽卡岩型铁矿(分水岭、中和、铁厂等)及少量铜矿点(图 2) [27]。研究区内的主要成矿系统如下:

5.1. 岩浆熔离型 Ni-Cu 成矿系统

中特提斯洋的开启于早二叠世发育了广泛的基性-超基性岩浆活动,形成了以大雪山 Cu-Ni 矿床为代表的岩浆型成矿作用。大雪山矿床与区域上具有裂谷性质的卧牛寺组玄武质岩石在空间上密切共生。

SHRIMP 锆石 U-Pb 定年显示大雪山基性超基性侵入岩体形成时间为 (300.5 ± 1.6) Ma,与中特提斯裂谷型岩浆岩年龄 310~280 Ma 相吻合;结合岩矿主微量元素特征及 Sr-Nd-Hf 同位素组成,认为大雪山矿床是典型的与中特提斯裂谷基性超基性岩浆活动相关的 Cu-Ni 成矿作用[2] [25]。中特提斯开启的裂谷作

用使得地幔发生活化形成的岩浆携带了早期硫化物堆晶,在岩浆结晶分异和地壳物质混染的作用下形成大雪山铜镍硫化物矿床[2]。目前已探明大雪山矿床的矿石量为 52 万吨,其中 Ni 金属量 4000 吨,平均品位为 0.67%,Cu 金属量 2400 吨,平均品位为 0.46%,含矿岩石主要为超基性单元方辉橄岩,在基性单元的辉长岩中基本不见镍矿化[25]。

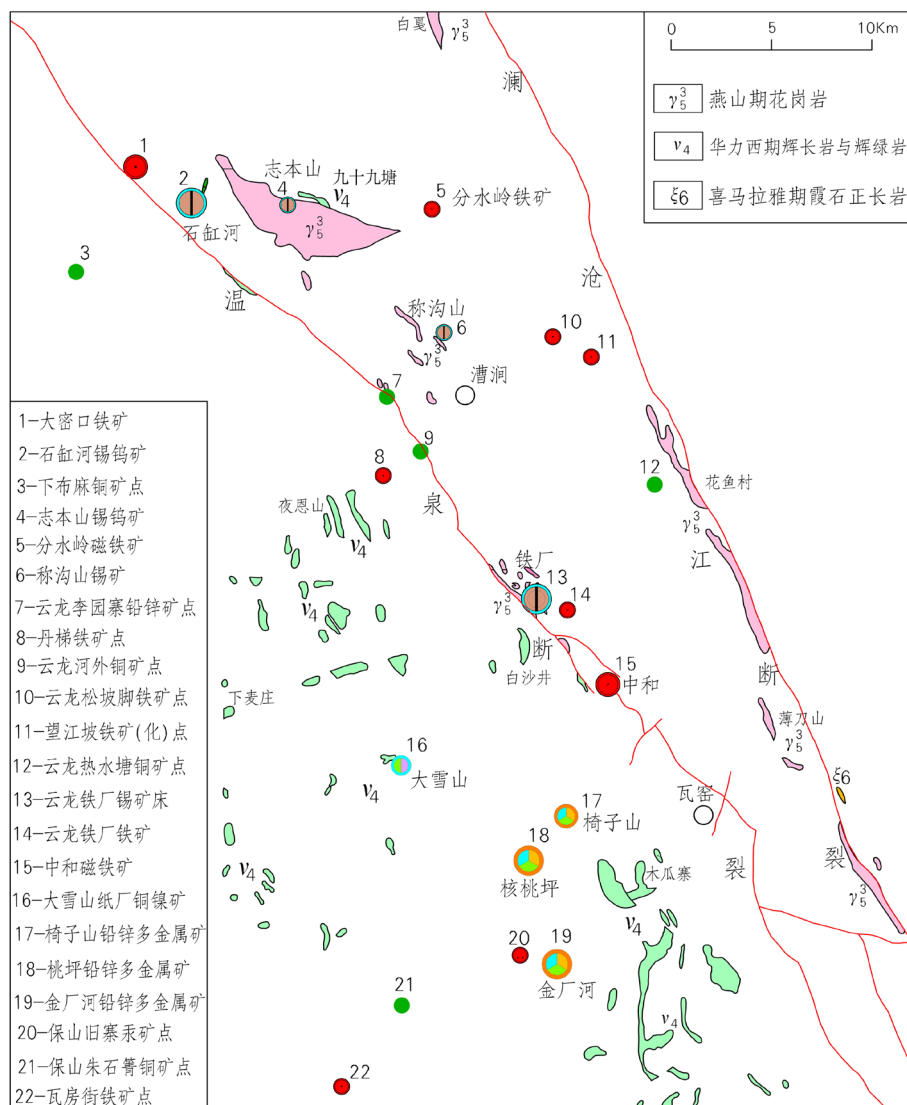


Figure 2. Distribution map of ore deposits (spots) in Wenquan fault tectono-magmatic belt adapted from data [27]
图 2. 温泉断裂构造 - 岩浆带矿床(点)分布图(据资料[27]改编)

5.2. 矽卡岩型/岩浆热液型 Pb-Zn-Cu-Ag-Hg 多金属成矿系统

中三叠世,怒江洋发生东向与西向俯冲,并于早白垩世关闭,在腾冲-保山地块形成了多期次与俯冲作用相关的岩浆活动,与此同时,发育了多个与早白垩世中酸性岩浆作用相关的矽卡岩型多金属矿床,主要以保山地块北部隆阳区核桃坪 Fe-Cu-Pb-Zn-Au 矿集区为代表。核桃坪集区位于保山地块北部,区内已发现核桃坪、金厂河、打场凹、椅子山等多个矽卡岩型 Fe-Cu-Pb-Zn 矿床和黄家地、黑牛凹、大金岩、上坪子等多个 Au 矿床(点),赋存于寒武系核桃坪组和沙河厂组。利用硫化物 Rb-Sr 测年获得金厂河矽卡

岩型 Fe-Cu-Pb-Zn 矿床的成矿年龄为 120~117 Ma, 与中特提斯洋闭合时间一致[28]。通过开展矿床地质、流体包裹体和同位素地球化学研究, 矿集区属于同一岩浆热液成矿系统, 并呈现出明显的水平金属矿化分带, 核部为 Fe-Cu-Pb-Zn 矿化(核桃坪), 外围为 Au 矿化(黑牛凹), 以及垂向分带(底部为 Fe 化, 中部为 Cu 矿化, 顶部为 Pb-Zn 矿化) [2]。据矿石铅的同位素组成, 核桃坪铅锌矿床具有与岩浆作用有关幔源铅与壳源铅相混合的造山带铅特征, 矿区铅锌矿矿石中的闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿及与矿石矿物密切共生的纯净石英样品, 采用 Rb-Sr 同位素定年分析, 获得等时线年龄为 116.1 ± 3.9 Ma [29]。

5.3. 岩浆热液型 Cu-Mo-Sn-W 多金属成矿系统

晚白垩世, 新特提斯洋盆开始北向俯冲于拉萨、西缅和滇缅泰马地块之下, 并于古近纪闭合。受新特提斯洋板片俯冲消减、碰撞拼合的影响, 晚白垩世 - 古近纪, 腾冲 - 保山地块发育了与新特提斯洋消减过程相关的岩浆热液 Sn 多金属成矿系统, 研究区内以云龙 Sn 矿带为代表。利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年方法, 漕涧 SWW 侧(称沟山岩体)二云母花岗岩年龄测试, 分别获得成岩年龄为 72.2 ± 0.8 Ma [30]、 73.32 ± 0.19 Ma [31]以及 68.8 ± 1.2 Ma [32], 并通过锆石微量元素和主微量地球化学特征分析, 应属 S 型花岗岩; 施琳等测得铁厂锡矿成矿期花岗岩钾长石年龄为 82 Ma [33]; 志本山黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 126.7 ± 1.6 Ma [29] [34]。在石缸河锡钨铍矿床通过 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法获片麻状花岗岩年龄为 163 Ma, 成矿年龄分别为: 锡矿 145 ± 3.4 Ma, 五叉树钨矿 68.1 ± 0.9 Ma, 石缸河钨矿 38.67 ± 1.9 Ma [35]。获得与成矿有关晚期浅色细粒白云母花岗岩 K-Ar 法年龄为 81.45~63 Ma, 矿化蚀变年龄为 56 Ma [36], 多期成矿特征显著。云龙锡矿带内三期主要的成矿事件均有同期构造 - 岩浆事件对应, 其中早、晚白垩世成矿活动与同期花岗岩体侵入紧密相关, 而新生代成矿活动则与崇山剪切带走滑活动关系密切。表明本区锡(钨)矿床经历了多期成矿过程, 岩浆侵入活动和构造相关混合岩化对矿床形成均有贡献[30]。

6. 泸水县石缸河锡钨铍矿床特征

6.1. 矿床地质特征

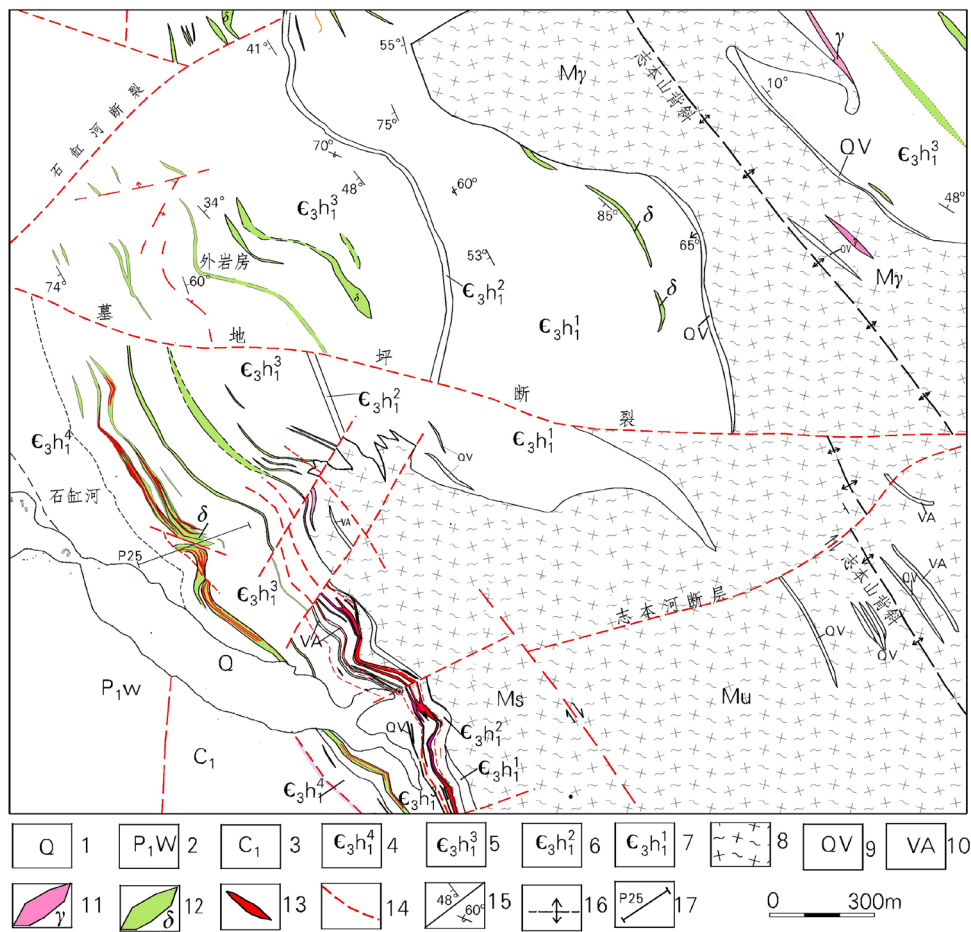
石缸河锡矿床是滇西云龙锡矿带北部的一个中型锡钨铍矿床, 锡、钨、铍均达中型规模, 其中铍金属量 3078 吨, 平均品位(BeO) 0.234% [37])。矿区位于泸水县城东南方向平距 36 千米, 夹持于漕涧断裂与温泉断裂之间。矿内出露地层主要为古生界寒武系上统核桃坪组浅变质或未变质的砂板岩、灰岩及深变质的斜长角闪片岩、变粒岩等。志本山背斜为主要控岩控矿构造, 位于矿区北东部, 长约 3.2 千米。背斜轴走向 330° , 向北西倾伏, 倾伏角约 20° 。核部为混合花岗岩, 翼部为核桃坪组砂板岩, 北东翼地层倾角 $20^\circ \sim 30^\circ$, 南西翼地层大部份倒转而成平卧褶曲。在平面上, 岩房和石缸河及五叉树(北西缘)的锡钨矿体围绕该背斜呈半环状展布(图 3)。

矿区出露的岩浆岩有以燕山期为主体的志本山花岗岩体、海西期辉长辉绿岩脉及燕山晚期 - 喜山早期的细晶岩脉。志本山花岗岩为多期侵入的复式岩体, 根据同位素年龄及接触关系可分为: ① 片麻状混合花岗岩(Mu), 出露于岩体西南部石缸河 - 滴水岩一带, Rb-Sr 法等时线年龄为 585.8 Ma; ② 中粗粒黑云母(二云母)花岗岩(Mr), 构成岩体的主体, K-Ar 法年龄为 181 Ma; ③ 中细粒二云母花岗岩(Ms): 呈不规则脉状侵入于岩体的北侧, K-Ar 法年龄为 112.9~136 Ma; ④ 浅色细粒白云母花岗岩(γ): 呈脉状侵入于岩体边缘, 分布于石缸河及志本山一带, K-Ar 法年龄为 81.45~63 Ma [36] [38]。

矿体产于志本山岩体北部和西部接触带附近 100~500 m 范围的半环形带内, 主要赋存于寒武系上统核桃坪组砂板岩层间破碎带及蚀变闪长 - 辉长岩脉带中, 少数产于志本山花岗岩体的内、外接触带及其附近的构造破碎带中(图 3)。矿床与志本山复式花岗岩体中的晚期浅色细粒白云母花岗岩的关系十分密切。可分三个 NW 向: 东带 - 花岗岩边缘矿化带, 由含石英电气石脉组成, 以钨锡矿化为主, 矿化连续性

差；中带 - 细粒白云母花岗岩脉矿化带，锡、钨矿化石英脉沿细粒花岗岩脉中的构造裂隙或脉壁充填，矿脉呈单脉或复脉产出，为区内主矿化带；西带 - 蚀变辉绿岩脉矿化带，由含矿电气石石英脉充填于蚀变辉绿岩脉的构造裂隙中，以锡、钨、铍矿化为主，矿化带稳定。由晚期细粒白云母花岗岩向外，具锡(钨) - 锡钨(铍) - 锡、钨、铍矿化分带性。通过 K-Ar 法矿化蚀变年龄为 56Ma，且矿脉具切穿晚期浅色细粒白云母花岗岩现象，矿化该期花岗岩演化的产物。成矿元素与细粒白云母花岗岩在成分上具有明显亲缘关系，晚期浅色细粒白云母花岗岩含 Sn 173×10^{-6} ，W 55×10^{-6} ，Be 5，B 357×10^{-6} ，Bi 91×10^{-6} ，Cu 75×10^{-6} ，Pb 20×10^{-6} ，Zn 148×10^{-6} [36] [38]。

矿体产状与赋矿周岩产状一致。向南西倾斜，倾角 $20^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。矿石类型以锡石 - 石英型为主，另有绿柱石 - 石英 - 电气石型、白钨矿 - 石英型。近矿围岩蚀变有云英岩化、电气石化、硅化、黑云母化，绿泥石化及碳酸盐化等，以蚀变迭加对成矿最为有利。矿石多呈浸染状、团块状构造。各种交代结构十分发育。矿石中的金属矿物主要有锡石、白钨矿、绿柱石，另有少量黄铁矿、毒砂。磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿，常见的非金属矿物为石英、电气石及少量萤石、黄玉、碳酸盐矿物。



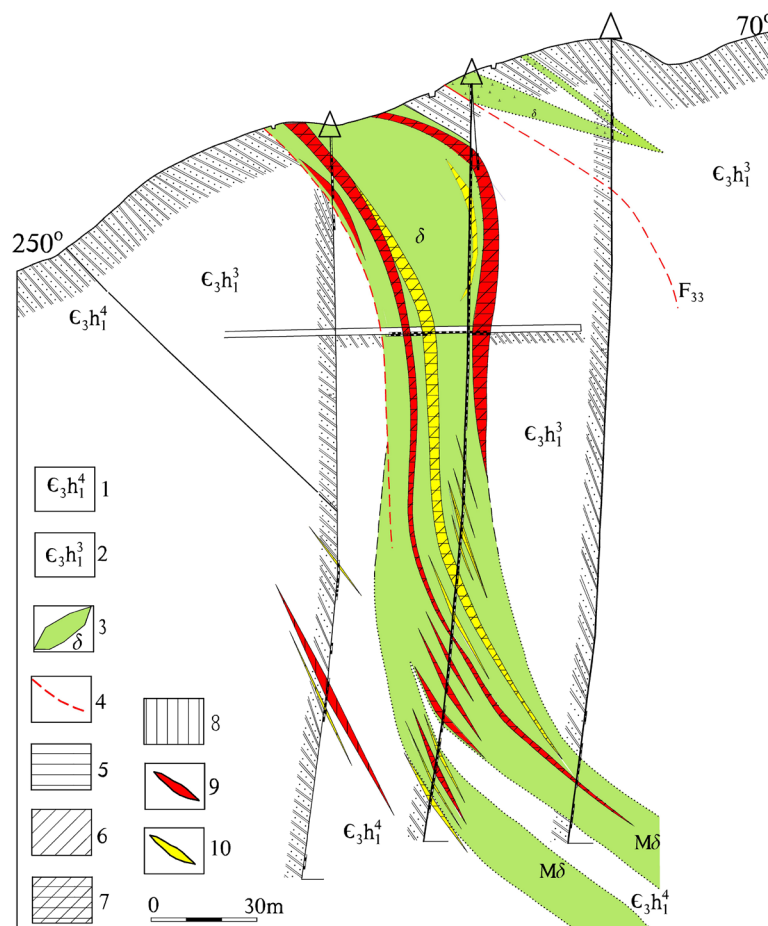
1-第四系；2-卧牛寺组玄武岩；3-石炭系下统生物屑灰岩；4-核桃坪组四段灰绿色、黑灰色板岩夹粉砂岩；5-核桃坪组三段紫灰色变质细砂岩，板岩；6-核桃坪组二段黑灰色含黄铁矿碳质板岩；7-核桃坪组一段紫灰色变质砂岩，变粒岩，夹片岩；8-混合花岗岩；9-石英脉；10-斜长角闪片岩；11-浅色细粒花岗岩；12-闪长 - 辉绿岩；13-矿体；14-断层；15-正常/倒转地层产状；16-背斜；17-勘探线及编号。

Figure 3. Geological map of the Shikong River tin-tungsten-beryllium deposit in Lushui (Source: Yunnan Provincial Bureau of nonferrous geology team 310)

图 3. 泸水县石缸河锡钨铍矿地质图(资料来源云南省有色地质局三一〇队)

6.2. 铍矿化特征

石缸河锡钨铍矿床的铍矿化主要分布于中矿带与西矿带，以西矿带为主。中矿带位于志本山花岗岩体石缸河岩舌外侧砂板岩中，以石英脉、细晶脉发育为特征，细晶脉产生张裂破碎，电气石、石英脉充填于张裂隙中，产生锡钨铍矿化。矿化类型为锡石-石英型和锡石-绿柱石-白云母-电气石型。西带(蚀变辉长辉绿岩矿化带)，分布于石缸河-外岩房，处于石缸河岩舌外侧浅变质砂岩内，靠近温泉断裂带，矿化富集于电气石-石英脉中和电气石黄铁矿化带中(图4)，成矿顺序为蚀变辉长辉绿岩破碎→石英→电气石→锡石、白钨矿、铍矿→硫化物。矿化蚀变有硅化、电气石化、黄铁矿化，尤其以电气石等气成矿物含量偏高为显著特征。绿柱石是矿区唯一见到的铍矿物。主要矿物为白钨矿、锡石、绿柱石，少量的方铅矿、黑钨矿、毒砂、黄铁矿等，脉石矿物主要是电气石，次为石英、长石和少量的萤石、闪石、柘榴石、磷灰石等。白钨矿呈散点浸染状、细脉浸染状嵌布在电气石、石英等矿物粒间；锡石常交代溶蚀电气石、石英、萤石等脉石矿物；矿石中的绿柱石颜色极淡，呈瓷白色，多呈粒状，偶见六方柱状，嵌布于电气石、石英等矿物粒隙间，颗粒浑浊密布有尘埃状的气液包裹体，粒度变化在 $0.07 \times 0.12 \sim 0.6 \times 2.15 \text{ mm}$ ；矿带中集合体呈团块状，脉状产出[37]。



1-核桃坪组四段灰绿色、黑灰色板岩夹粉砂岩；2-核桃坪组三段紫灰色变质细砂岩；3-蚀变辉长辉绿岩；4-断层；5-钨矿体；6-铍矿体；7-钨铍共生矿体；8-锡矿体；9-工业矿体；10-低品位矿体。

Figure 4. Section of P25 prospecting line in the west beryllium ore belt of Shiguanghe tin-tungsten Deposit, Lushui (Source: Yunnan Provincial Bureau of nonferrous geology team 310)

图 4. 泸水县石缸河锡钨铍矿西矿带 P25 勘探线剖面图(资料：云南省有色地质局三一〇队)

在空间上,侵入于板岩中的蚀变辉长辉绿岩脉内产出有含细粒锡石、白钨矿和绿柱石的石英电气石脉,是一种较为特别的矿化类型。据同位素资料含矿围岩辉长辉绿岩为海西期侵入体,在漕涧辉绿岩样品8颗锆石的U-Pb加权平均年龄为 307.9 ± 3.2 Ma [25],而石缸河锡钨铍矿化集中在68~56 Ma,与燕山晚期酸性岩浆期后热液关系密切。铍的地球化学迁移主营力为岩浆作用,单纯的变质流体活动难以造成Be的成矿富集,成矿与酸性岩浆有直接成因联系,Be主要在伟晶岩中成矿[39]。区域性深断裂是本区花岗岩浆上升的通道,控制着花岗岩体和矿化的带状分布。据研究核桃坪铅锌矿区辉绿岩和辉长基性岩脉以强烈富集($K \geq 5$) Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、As、Sb、Bi、F,富集($K \geq 1.2$) Sn为特征[40]。

7. 研究区主要成矿模式及找矿方向

7.1. 控矿因素及成矿模式讨论

7.1.1. 地层岩性的控矿作用

1) 部分成矿物质来自基底岩石的有关层位。

铁厂地区崇山岩群中凝灰岩-变质砂岩-板岩,含锡背景值为 25×10^{-6} 、钨 3×10^{-6} 、铍 3×10^{-6} 、铌 117×10^{-6} 。黑云石英片岩-斜长角闪岩含锡 78×10^{-6} 、铍 1×10^{-6} ,可作为滇西地区壳碰撞造矿物质在花岗岩化过程中演化集中成矿的矿源层或矿源岩[41]。石缸河矿区核桃坪组下段含锡较高,特别是黑色碳质板岩据电子探针测定含球粒状胶态锡石,粒径10微米,呈散点状分布,锡丰度平均高达 124×10^{-6} ,为成矿提供了部分物质来源[38]。据核桃坪铅锌矿区容矿地层地球化学研究,上寒武统整体上以强烈富集Bi、B,富集Sb、As、W、Sn为特征,Bi、Sb、As、B等这些金属、半金属和非金属矿化剂元素在容矿地层中的聚集可能为在后期热液成矿作用过程中捕获成矿元素、导致成矿物质巨量堆积,最终形成工业矿床奠定了基础[40]。其中层间断裂界面及硅钙岩性界面,为有利成矿结构面。

2) 志本山-称沟山复式花岗岩体,分布于保山地块东侧志本山-称沟山-铁厂一带,呈岩株、岩枝群。其最大特点是含电气石,富含挥发组分B,B质量分数达 64×10^{-6} ~ 1000×10^{-6} ,甚至更高。微量元素含锡值 24×10^{-6} ~ 400×10^{-6} ,锡含量往往随着硼的富集而增高,两者呈正相关关系[38]。

3) 侵入于核桃坪组下段的辉长辉绿岩脉及细粒花岗岩脉为脆性较大的岩石,在构造应力作用下易产生裂隙,有利于矿液的运移和矿质的沉淀。接触带附近断裂界面,为有利容矿空间。

7.1.2. 岩浆侵位与成矿作用

滇泰锡矿带含锡花岗岩的特点是没有叶理(片理),一般为细-中粒,具半自形粒状结构,矿物成分变化从黑云母-白云母花岗岩到白云母电气石花岗岩。对锡矿成矿作用最主要的S型花岗岩属燕山晚期-喜山早期。含锡花岗岩通常为细粒花岗岩,白云母、电气石和石榴石是标志性矿物[42]。晚白垩世侵入岩和与之有关的矿床形成于后碰撞陆内伸展构造环境[8]。温泉断裂构造-岩浆带增生-碰撞造山岩浆热液型复合成矿系统与燕山晚期中特提斯洋的关闭及新特提斯洋的俯冲消减引发的酸性岩浆期后热液系统关系密切。

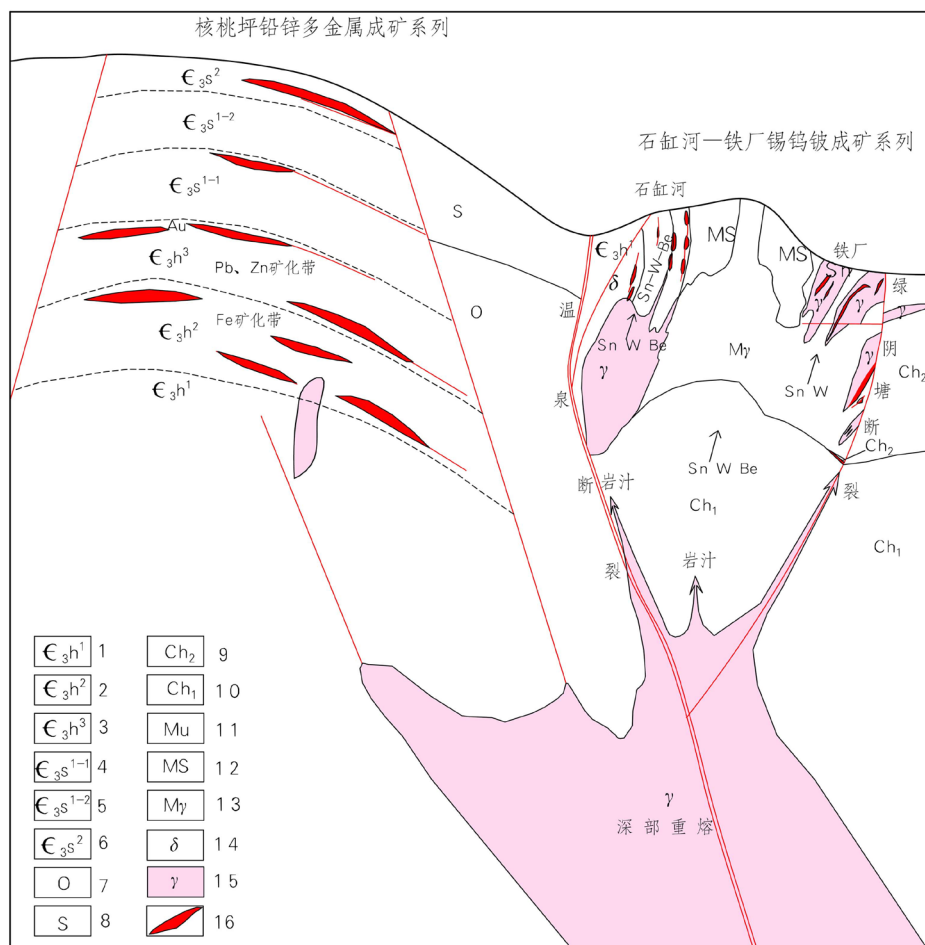
7.1.3. 控矿构造及成矿结构面

研究区内断裂构造的分级控岩、控矿作用是极为明显的。澜沧江和怒江区域性的深大断裂,控制着整个成矿带和岩浆岩带的空间展布;二级断裂(如温泉断裂)控制着锡矿田的空间分布,为具体的导岩、导矿构造;三级断裂及褶皱(如漕涧-绿阴塘断裂),控制着锡矿床的具体分布,为配矿构造;四级含矿断裂,为具体的容矿构造。因构造的多期活动性,在断裂的交接部位及产状变化部位控制富矿体的形成[19]。温泉断裂构造-岩浆带处于保山南北向构造带与北西向崇山断裂带的锐角交汇的有利部位。

7.1.4. 成矿机理与成矿模式

构造体制转换为西南三江特提斯复合造山作用基本机理[2]。滇西大面积的混合岩、花岗岩类在前寒

武纪、加里东期、海西期等多期活化作为成矿的物质准备。特提斯消亡形成极其强烈的动力环境，使滇西陆壳广泛出现基底滑脱、韧性剪切、糜棱岩带等，形成良好的控矿、容矿构造[1]。在中-新特提斯构造体制转换及叠加复合作用下，滇西西部地区发育典型的增生-碰撞造山岩浆热液型复合成矿系统。研究区主要矿床类型有岩浆期后高-中温气成热液型锡钨矿床、接触交代型(矽卡岩型)铜铁铅锌多金属矿床。均表现强烈的多期次热液蚀变叠加现象，具有明显的矿化分带特征。云龙锡矿床锡石结晶作用表现出来的溶蚀作用、包含构造、再结晶作用及充填作用等成矿方式，是本区成矿作用具有多期次同位叠加特征的反映[43]。温泉断裂是研究区主要的导岩、导矿构造。温泉断裂构造-岩浆带内 Sn-W-Be 成矿系统与 Fe-Pb-Zn 成矿系统是相同构造岩浆热事件在不同标高和不同围岩环境的成矿响应。沿温泉断裂上涌的燕山期深部重熔岩浆为成矿母岩，岩汁及含矿热液在构造力的推动下向上侵位、矿液沸腾及与围岩交代，致使物化条件迅速变化及温度降低，携带成矿元素的能力减弱而沉淀成矿，从形成：① 受岩体顶部张裂群控制的志本山锡矿；② 受岩体形态及围岩构造破碎带控制的石缸河锡矿；③ 受岩脉及压扭性断层控制铁厂锡矿；④ 受与导矿构造交汇的层间破碎带控制的李子坪锡矿以及核桃坪式矽卡岩型多金属矿系列[44](图5)。



1-核桃坪组下段；2-核桃坪组中段；3-核桃坪组上段；4-沙河厂组下段第一亚段；5-沙河厂组下段第二亚段；6-沙河厂组上段；7-奥陶系；8-志留系；9-崇山群上段；10-崇山群下段；11-片麻状含斑混合岩；12-条纹状混合花岗岩；13-中-粗混合花岗岩；14-辉长辉绿岩；15-晚期花岗岩；16-矿体。

Figure 5. Metallogenic model of Wenquan Fault structure-magmatic belt

图5. 温泉断裂构造-岩浆带成矿模式图

7.2. 找矿方向

1) 据研究保山地球化学亚区地层化学元素丰度 Be 3.61×10^{-6} , Nb 29.41×10^{-6} , Ce 56.28×10^{-6} , La 30.35×10^{-6} , V 64×10^{-6} , Y 11.56×10^{-6} 。核桃坪 - 瓦渡为 Cu、Pb、Zn、Cd、As、Sb、Au、Ag、W、Mo、Ni 异常带; 笔峰山 - 漕涧为 Pb、Zn、Sb、W、Bi、Mo、B 异常带, 伴有 La、Bb、Y 异常[45]。沿温泉断裂构造 - 岩浆带重点探寻与燕山晚期 - 喜山期花岗岩体有关的 Pb、Zn、Sn、W、Be 多金属成矿系列。

2) 在石缸河以北的外岩房一带开展的补勘工作(2009年)中揭露到富厚的石英 - 电气石型白钨矿体产于蚀变辉长辉绿岩中, 但未对铍矿化进行评价, 该区是寻找铍矿的首选靶区。

3) 温泉断裂以东的中和铁矿、松坡铁矿的类型主要为矽卡岩型磁铁矿, 具小而富之特点。矽卡岩化的晚期阶段, 常有少量锡石、白钨矿伴生, 据松坡铁矿光谱分析含 W 0.10% [27]。Be 除了赋存于绿柱石、硅铍石、羟硅铍石等铍矿物中, 还广泛分布在矽卡岩矿物符山石和方柱石中[46]。松坡、光山、中和一带的深部具有寻找锡钨铍的空间。

4) 保山核桃坪铅锌多金属矿集区 2268 m 标高(磁铁矿化带)提露到石英斑岩脉侵入于绿帘石矽卡岩中(图 6), 其中 W 含量达 745×10^{-6} , 岩石具碎裂构造, 金属硫化物含量 15%, 预示了在深部寻找与酸性侵入体有关的钨铍矿化的可能性。

5) 与裂谷相关的岩浆镍 - 铜硫化物矿床通常以群簇状产出, 而不仅单独产出一处, 同时该类型矿床对侵入岩体的规模并无特殊要求, 反而是小型的岩浆通道有利于成矿作用的发生, 勘查对象主要具有 ~310~280 Ma 年龄的基性 - 超基性侵入体[25]。



Figure 6. The quartz porphyry veins in Hetaoping ore concentration area are intruded into epidote silicalites (Source: In Situ collection)

图 6. 核桃坪矿集区石英斑岩脉侵入于绿帘石矽卡岩中(资料: 现场采集)

8. 结论

1) 复合造山和叠加转换共同导致了三江特提斯域复杂的构造岩浆活动和复合成矿系统, 构造动力体制转换是成矿的根本驱动, 成矿参数临界转换是矿床形成的基本条件。伴随中、新特提斯洋的消减与增生造山作用, 滇西西部地区发育典型的增生 - 碰撞造山岩浆热液型复合成矿系统。

2) 温泉断裂构造 - 岩浆带成矿系统以斑岩 - 矽卡岩型 Cu-Fe-Pb-Zn 和云英岩型 Sn、W 矿床为主, 成矿与燕山晚期中特提斯洋的关闭及新特提斯洋的俯冲消减引发的酸性岩浆期后热液系统关系密切, 形成于后碰撞陆内伸展构造环境。温泉断裂是研究区内主要的导岩、导矿构造, 区内岩浆热液型 Sn-W-Be 成矿系统与矽卡岩型/岩浆热液型 Fe-Pb-Zn-Cu-Ag-Hg 多金属成矿系统属于相同构造岩浆热事件在不同标高

和不同围岩环境的成矿响应，为复合成矿作用的产物。进一步探寻与燕山晚期 - 喜山期花岗岩体是后续找矿的关键环节，与酸性岩有关的 Pb、Zn、Sn、W、Be 多金属成矿系列是区内的重点找矿方向。

3) 石缸河锡钨铍矿床的铍矿化在空间上依附于海西期蚀变辉长辉绿岩脉(307.9 ± 3.2 Ma)，但成矿年龄集中在 68~56 Ma，与燕山晚期酸性岩浆期后热液关系密切。蚀变辉长辉绿岩脉构造带内产出有含细粒锡石、白钨矿和绿柱石的石英电气石脉，是一种较为特别的矿化类型。蚀变辉长辉绿岩脉以北的外岩房一带是寻找铍矿资源的首选靶区。温泉断裂北东侧的松坡、光山、中和一带，以及温泉断裂南西侧核桃坪一带其深部具有寻找与晚期酸性岩体相关的钨铍矿的找矿远景。

4) 以大雪山 Cu-Ni 矿床为代表的 Cu-Ni 成矿系列，为形成于海西期中特提斯裂谷环境的基性 - 超基性岩浆活动相关的岩浆熔离型床，其中超基性岩是后续勘查工作重点关注的方向之一。

致 谢

论文的完成得益于《第二次青藏高原综合科学考察研究》项目的实施，感谢科技部对项目给予的支持！作者非常感谢崔银亮教授级高工对项目的指导与启发！在野外工作中也得益于与项目组同志的交流，谨表谢忱！并对给予转载和引用权的文献资料的所有者表示感谢！

基金项目

第二次青藏高原综合科学考察研究项目(编号：2019QZKK0802-03-2)。

参考文献

- [1] 罗君烈. 滇西锡矿的花岗岩类及其成矿作用[J]. 矿床地质, 1991, 10(1): 81-96.
- [2] 邓军, 王庆飞, 陈福川, 等. 再论三江特提斯复合成矿系统[J]. 地学前缘, 2020, 27(2): 106-136.
- [3] 王臣兴, 崔子良, 杨伟, 等. 云南省锡钨矿成矿规律及资源潜力[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 1-263.
- [4] 刘伟宁. 云龙锡矿带断裂的特征及控矿作用[J]. 昆明工学院学报, 1990, 15(1): 14-22.
- [5] 邓军, 王庆飞, 李龚健. 复合造山和复合成矿系统: 三江特提斯例析[J]. 岩石学报, 2016, 32(8): 2225-2247.
- [6] 陈炳慰, 王凯元, 刘万熹, 等. 怒江 - 澜沧江 - 金沙江地区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 1-204.
- [7] 邓军, 王长明, 李龚健, 等. 三江特提斯叠加成矿作用样式及过程[J]. 岩石学报, 2012, 28(5): 1349-1361.
- [8] 邓军, 王长明, 李龚健, 等. 复合成矿系统理论: 揭开西南特提斯成矿之谜的关键[J]. 岩石学报, 2019, 35(5): 1303-1323.
- [9] 李兴振, 江新胜, 孙志明, 等. 西南三江地区碰撞造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-213.
- [10] 邓军, 侯增谦, 莫宣学, 等. 三江特提斯复合造山与成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 37-42.
- [11] 邓军, 杨立强, 王长明. 三江特提斯复合造山与成矿作用研究进展[J]. 岩石学报, 2011, 27(9): 2501-2509.
- [12] 曹华文, 张寿庭, 林进展, 等. 滇西锡矿带地质特征与成矿构造背景[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(4): 457-467.
- [13] 邓军, 张静, 王庆飞. 中国西南特提斯典型复合成矿系统及其深部驱动机制研究进展[J]. 岩石学报, 2018, 34(5): 1229-1238.
- [14] 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J]. 中国科学 B(辑), 1993, 23(11): 1201-1207.
- [15] 邓军, 王长明, 李文昌, 等. 三江特提斯复合造山与成矿作用研究态势及启示[J]. 地学前缘, 2014, 21(1): 52-64.
- [16] 方宗杰, 王玉净, 周志澄, 等. 滇西昌宁 - 孟连带西区两个地层问题——兼论昌宁 - 孟连带的闭合造山过程[J]. 地层学杂志, 2000, 24(3): 182-189.
- [17] 聂飞, 董国臣, 莫宣学, 等. 滇西昌宁 - 孟连带三叠纪花岗岩地球化学、年代学及其意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(5): 1465-1476.
- [18] 崔子良, 程家龙, 李俊, 等. 云南保山地块铅锌多金属隐伏矿找矿实践及应用[M]. 昆明: 云南科技出版, 2021:

1-312.

- [19] 戴清明. 云龙锡矿带断裂构造分级控矿特征[J]. 昆明工学院学报, 1987(3): 9-21.
- [20] 张位及. 滇西云龙锡矿带花岗岩及其成矿[J]. 云南地质, 1984, 3(2): 141-149.
- [21] 孙家聪. 云南省主要构造体系的成生发展及某些矿产的分布规律[J]. 昆明工学院学报, 1988, 13(3): 88-102.
- [22] 曾令森, 刘静, 高利娥, 等. 从缩短增厚到伸展减薄: 地壳深熔作用与大型碰撞造山带的深部过程[C]//中国地质学会. 第五届构造地质与地球动力学学术研讨会论文集. 武汉: 中国地质大学, 2012: 231.
- [23] 陈吉深. 滇西不同类型花岗岩及其与锡矿的关系[J]. 云南地质, 1984, 3(1): 19-35.
- [24] 张亚光. 云南省石缸河地区鹤锡多金属成矿地质特征及外围找矿预测[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2016: 1-100.
- [25] 刘金宇. 西南三江特提斯保山地块晚古生代玄武质岩浆作用与镍-铜成矿研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2020: 1-158.
- [26] 韩艳伟. 滇西保山核桃坪铅锌矿 V1 矿体成矿流体演化的历史分析[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2010: 1-106.
- [27] 吴树华, 编著. 1/20 万区域地质调查报告(永平幅矿产部分) [R]. 昆明: 云南省地质局, 1979: 1-98.
- [28] 黄华, 张长青, 周云满, 等. 云南保山金厂河铁铜铅锌多金属矿床 Rb-Sr 等时线测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2014, 33(1): 123-136.
- [29] 陶琰, 胡瑞忠, 朱飞霖, 等. 云南保山核桃坪铅锌矿成矿年龄及动力学背景分析[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1760-1772.
- [30] 廖世勇, 王冬兵, 唐渊, 等. “三江”云龙锡(钨)成矿带晚白垩世二云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2013, 32(4): 450-462.
- [31] 禹丽, 李龚健, 王庆飞, 等. 保山地块北部晚白垩世岩浆岩成因及其构造指示: 全岩地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素制约[J]. 岩石学报, 2014, 30(9): 2709-2724.
- [32] 孙柏东, 王晓林, 黄亮, 等. 保山地块漕涧复式岩体晚白垩世花岗岩地球化学特征及锆石 U-Pb 年代学意义[J]. 地质通报, 2018, 37(11): 2099-2111.
- [33] 施琳, 陈吉深, 吴上龙, 等. 滇西锡矿带成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [34] 陶琰, 朱飞霖, 马言胜, 等. 保山地块志本山花岗岩锆石 La-ICP-MS 分析[J]. 矿物学报, 2009, 73(增): 329.
- [35] 邱华宁, 戴撞摸, 蒲志平. 滇西泸水钨锡矿床 40Ar-39Ar 法成矿年龄研究[J]. 岩石学报, 1994, 23(增): 93-102.
- [36] 张文源. 滇西石缸河锡矿床的成因探讨[J]. 矿产与地质, 1996, 10(3): 159-164.
- [37] 杜启亮. 云南省泸水县石缸河锡钨矿床详查地质报告[R]. 大理: 中国有色金属总公司西南有色地质勘查局三一〇队, 1989: 1-78.
- [38] 张文源. 滇西石缸河石英脉型锡矿床的成矿地质特征[J]. 有色金属矿产与勘查, 1993, 2(6): 327-334.
- [39] 马骏, 陶琰, 何德锋, 等. 云南麻花坪钨铍矿成矿年龄及流体包裹体特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2020, 39(2): 223-231.
- [40] 陈永清, 卢映祥, 夏庆霖, 等. 云南保山核桃坪铅锌矿床地球化学特征及其成矿模式与找矿模型[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 90-99.
- [41] 张志信, 孙家聪. 滇西锡矿带成矿远景研究专题: 1982~1983 年地质研究工作阶段报告[R]. 昆明: 西南冶金地质勘探公司, 1983: 1-21.
- [42] S. Suensilpong, P. Putthapiban, N. Marlagit, 王志泰. 含锡花岗岩的某些特征及其与构造条件的关系[J]. 云南地质, 1982, 1(2): 198-208.
- [43] 张增佑. 云龙锡矿床锡石结晶作用的研究[J]. 云南地质, 1994, 13(1): 86-97.
- [44] 邹树, 林永材, 高泽培. 试论滇西云龙锡矿带构造重熔侵入花岗岩的成矿特征及其成矿模式[J]. 矿产地质研究院学报, 1985(3): 6-12.
- [45] 刘洪滔, 黄荣祥, 莫向云, 等. 滇西北地球化学特征及金铜铅锌银成矿[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2012: 1-253.
- [46] 何畅通, 秦克章, 李金祥, 等. 喜马拉雅东段错那洞钨-锡-铍矿床中铍的赋存状态及成因机制初探[J]. 岩石学报, 2020, 36(12): 3593-3606.