第 53 卷　第 4 期　　成都理工大学学报（自然科学版）　　Vol. 53　No. 4
2026 年 8 月　　JOURNAL OF CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY（Science & Technology Edition）　　Aug. 2026

DOI：10.12474/cdlgzrkx.2026052501

滇东南个旧—麻栗坡矿集区多期次锡钨成矿作用

李文昌[1,2,3*]，杨富成[1,2,3]，江小均[1,2,3]，刘学龙[1,2,3]，邓明国[1,2,3]，
徐忠彪[1,2,3,4]，韩　嶂[1,2,3]，陆波德[1,2,3]

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院，昆明 650093；
2. 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室，昆明 650216；
3. 云南省三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室，昆明 650216；
4. 昭通学院 地理科学与旅游学院，云南 昭通 657000

[摘要] 滇东南个旧—麻栗坡矿集区位于特提斯与环太平洋成矿域交汇部位，隶属于华南板块西南缘。区内围绕个旧、薄竹山、老君山岩体周缘发育世界级锡钨多金属矿床，长期备受关注。本文在前人研究成果基础上，对该区多期多类型锡钨多金属成矿作用开展了研究，对晚白垩世岩浆流体成矿系统进行了总结，取得以下新认识：(1)厘定东南麻栗坡地区发育四期锡钨成矿作用（437～411 Ma、230～203 Ma、160～140 Ma 和 97～79 Ma），而向北西薄竹山—个旧地区则过渡为以晚白垩世岩浆成矿作用（91～76 Ma）为主；(2)晚白垩世成矿岩浆源于古陆边缘富含锡钨多金属成矿元素的古—中元古代变沉积岩的部分熔融；(3)个旧、薄竹山、麻栗坡矿集区发育相似的岩浆穹隆成矿系统，完整的成矿系统包括岩体内发育云英岩型锡钨矿，接触带发育矽卡岩锡钨铜矿，向外依次发育锡钨铅锌银矿、铅锌银矿和银矿；(4)物源及流体演化过程的差异控制了个旧、薄竹山、麻栗坡地区的不同矿化组合。鉴于此，本文构建了多期次、多层位复合成矿模式及晚白垩世岩浆流体成矿系统模型，为区域找矿勘查提供科学指导。

[关键词] 个旧—麻栗坡矿集区；锡钨多金属矿床；成矿源区；多期流体成矿系统

[分类号] P618.44　　[文献标志码] A

Multistage tin and tungsten mineralization in the Gejiu−Malipo ore district, southeast Yunnan

LI Wenchang[1,2,3*]，YANG Fucheng[1,2,3]，JIANG Xiaojun[1,2,3]，LIU Xuelong[1,2,3]，
DENG Mingguo[1,2,3]，XU Zhongbiao[1,2,3,4]，HAN Zhang[1,2,3]，LU Bode[1,2,3]

1. *Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China*;

收稿日期：2026-05-25；**改回日期：**2026-06-16。　**责任编辑：**黄维婷。　**期刊主页：**https://xbzrkx.cdut.edu.cn/
基金项目：云南省科技厅重大科技专项计划（202202AG050006）；深地国家科技重大专项（2024ZD1001702）；云南省科技厅高层次科技人才及创新团队选拔专项（202305AT350004，202205AS350015）。
***通信作者：**李文昌（1962—），男，教授，研究方向：三江地区成矿规律研究与找矿勘查，E-mail: lwcyndd@163.com。
引用格式：李文昌，杨富成，江小均，等，2026. 滇东南个旧—麻栗坡矿集区多期次锡钨成矿作用 [J]. 成都理工大学学报（自然科学版），53(4)：757—773.
Li W C, Yang F C, Jiang X J, et al., 2026. Multistage tin and tungsten mineralization in the Gejiu−Malipo ore district, southeast Yunnan[J]. Journal of Chengdu University of Technology（Science & Technology Edition），53(4)：757—773.

2. *Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Ministry of Natural Resources, Kunming 650216, China*;
3. *Yunnan Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Kunming 650216, China*;
4. *School of Geography Science and Tourism, Zhaotong University, Zhaotong 657000, China*

Abstract: The Gejiu−Malipo ore district in southeast Yunnan is located at the junction of the Tethyan and Circum-Pacific metallogenic domains, belonging to the southwestern margin of the South China Block. The area hosts world-class extra-large deposits developed around the Gejiu, Bozhushan, and Laojunshan granitic intrusions, and has long attracted significant research attention. Based on previous studies, this paper investigates multistage and multi-type Sn-W polymetallic mineralization in the region and develops a model of the Late Cretaceous Epoch magmatic-hydrothermal ore-forming system. The following new insights have been obtained: (1) Four episodes of Sn-W mineralization (437–411 Ma, 230–203 Ma, 160–140 Ma, and 97–76 Ma) are identified in the southeastern Malipo area, whereas northwestward into the Bozhushan–Gejiu area, the mineralization transitions to being dominated by Late Cretaceous Epoch magmatic processes. (2) The Late Cretaceous Epoch ore-forming magma originated from partial melting of Paleo- to Mesoproterozoic metasedimentary rocks enriched in Sn-W polymetallic elements along the passive margin of an ancient continent. (3) Similar magmatic dome-related metallogenic systems developed in the Gejiu, Bozhushan, and Malipo ore district, a complete system which includes greisen-type Sn-W deposits within the intrusion, skarn-type Sn-W-Cu deposits along the contact zone, and outward succession of Sn-W-Pb-Zn-Ag deposits, Pb-Zn-Ag deposits, and Ag deposits. (4) Finally, differences in metal sources and fluid evolution processes control the distinct mineral assemblages in the Gejiu, Bozhushan, and Laojunshan areas. Accordingly, this paper establishes a multistage, multi-layer composite metallogenic model and a Late Cretaceous Epoch magmatic-hydrothermal ore-forming system model, providing scientific guidance for regional mineral exploration and prospecting.

Key words: Gejiu−Malipo ore district; Sn-W polymetallic deposit; ore-forming source area; multi-stage ore-forming fluid system

锡、钨是中国战略性矿产。多年来，中国锡钨消费量居全球首位，2024 年中国锡钨消费量占全球总消费量的 41.1% 和 87.7%(王安建等, 2025)。持续的高需求导致锡钨资源保障程度逐步降低，已由出口国转变为进口国。全球锡钨矿主要集中分布于华南、东南亚、东澳和南美等成矿带(Romer and Kroner, 2016)。中国锡、钨矿床分布广泛，但查明资源主要集中于华南板块(～80%; 蒋少涌等, 2020)，华南钨矿集中分布在南岭成矿带和江南(赣北皖南)成矿带，锡矿主要分布在南岭成矿带和右江—桂北成矿带(Ni et al., 2023)。成矿时代上，中国锡钨成矿主要集中于燕山期，其次为印支期和加里东期。原生锡钨矿床类型主要包括斑岩型、云英岩型、矽卡岩型、石英脉型和锡石硫化物型等(蒋少涌等, 2020)。近年研究表明，锡钨成矿经历了源区初始富集、构造活化、岩浆分离结晶、流体出溶及在岩体顶部围岩中富集成矿等系列过程(Romer and Kroner, 2016, 2022; Mao et al., 2019; Zhao et al., 2022; Yang et al., 2025, 2026; Sun et al., 2026)。

滇东南个旧—麻栗坡矿集区地处特提斯和环太平洋成矿域交汇部位，是全球重要的锡钨多金属产区之一。其中，个旧素有“世界锡都”之称，累计探明锡资源量>320×10^4 t，铜资源量>150×10^4 t(Cheng et al., 2013)。薄竹山和麻栗坡矿集区不仅锡、钨资源储量大，且共伴生的铅、锌、银、铟等资源量也非常可观，综合利用价值极高(Liu et al., 2023; 刘学龙等, 2024)。前人已识别出该矿集区矿床的多种类型和多流体来源(Zhu et al., 2024; Zhao et al., 2024; Li et al., 2025; Lai et al., 2026)，并注意到多期成矿叠加现象(Zhang et al., 2022; Liu et al., 2023; Zhao et al., 2024; Xu et al., 2025; Chen et al., 2025)。然而，目前对该区多期多类型锡钨多金属成矿的物质来源、成矿期次、岩浆−流体演化以及成矿系统的时空结构与演化规律尚缺乏系统解析，个旧、薄竹山、老君山三大岩体之间的成矿差异机制仍未厘清，制约了找矿突破。

本文针对个旧—麻栗坡地区锡钨多金属矿床“多期成矿、多层位赋矿”成矿作用特征，从区

域成矿角度，系统解析该区多期多层位赋矿的成矿机制及成矿规律，厘定该区发育四期锡钨成矿作用，揭示个旧、薄竹山、老君山晚白垩世成矿岩浆均源于古陆边缘的古老沉积物部分熔融，个旧、薄竹山、老君山三大岩体发育相似的岩浆穹隆成矿系统，建立成矿系统结构模型：即由岩体向外形成石英脉锡钨矿→矽卡岩锡钨铜矿→锡钨铅锌银→铅锌银→银矿的成矿分带，建立多期次、多层位复合成矿模式，为找矿勘查提供科学指导。

1　成矿地质背景

1.1　区域地质背景

滇东南个旧—麻栗坡锡钨多金属成矿带地处华夏地块、扬子地块与三江特提斯构造带三大构造单元的交汇部位（图 1）。该区域自古生代以来，经历了多期次、多体制的构造-岩浆事件叠加，其演化历史具有鲜明的阶段性。围绕个旧、薄竹山、老君山三大白垩纪花岗岩体发育强烈的锡钨多金属成矿作用，形成钨锡铅锌银铟等多金属矿集区。

区内地层从元古代至新生代均有出露。赋矿围岩主要有：下元古界南秧田岩组云母片岩，上元古界新寨岩组云母片岩夹大理岩，寒武系田蓬组、龙哈组、冲庄组、大坡口组碳酸盐岩夹碎屑岩以及三叠系个旧组碳酸盐岩等，显示明显的多层位控矿特征。

区内构造发育，区域性深大断裂包括文山—麻栗坡断裂带与广南—富宁断裂，二者共同构成了区域性超壳断裂，是区域基底裂谷的边界，控制着右江盆地的演化与沉积建造的空间分布（李睿昱等，2024）。同时，北西向的红河断裂与哀牢山断裂，以及北东向的弥勒—师宗断裂与南盘江断裂，共同构成了研究区内的主干断裂系统。在

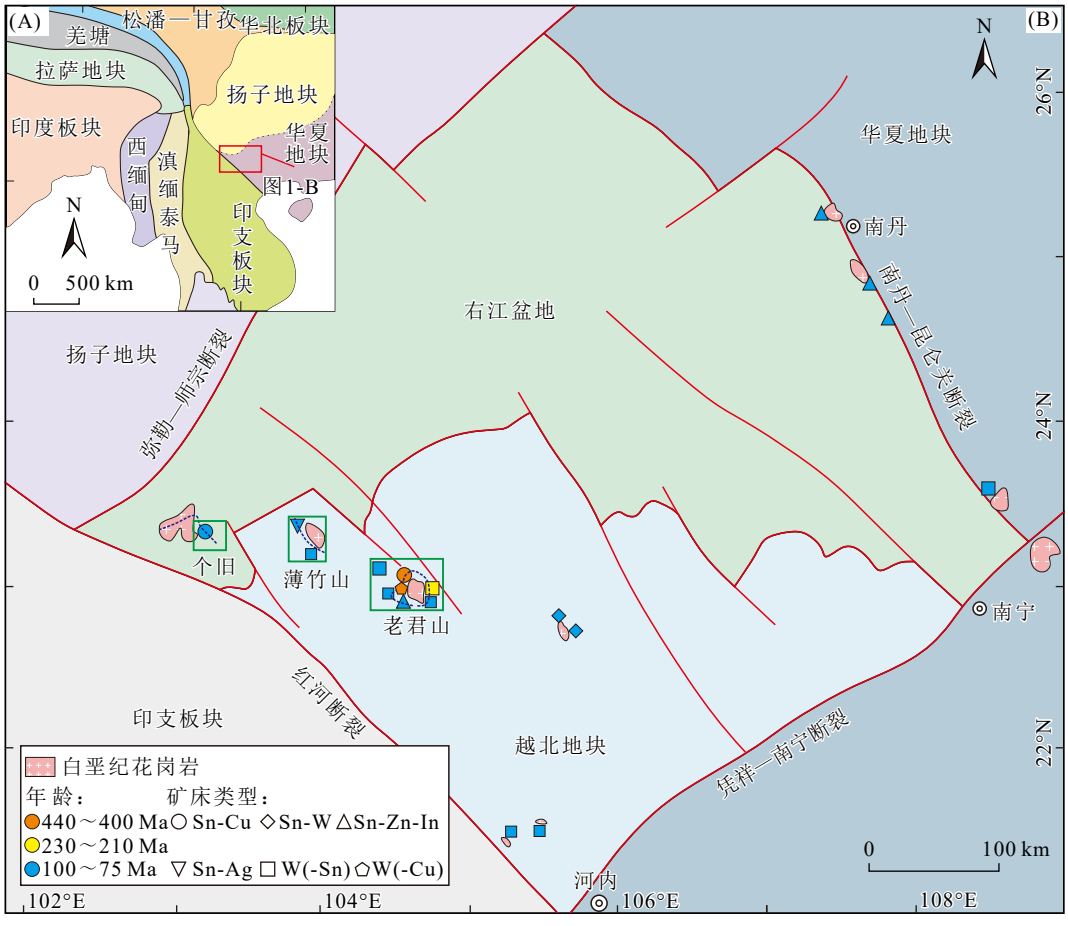


图 1　滇东南个旧—薄竹山—麻栗坡矿集区地质简图

Fig. 1　Simplified geological map of the Gejiu−Bozhushan−Malipo ore district, southeastern Yunnan

（A）研究区大地构造位置图（据邓军等，2020 修改）；(B) 研究区地质简图（据 Cheng et al., 2013 修改）

矿田尺度上,伴随岩浆穹隆的形成,发育层间滑动构造、爆破角砾岩筒、张性断裂等一系列构造组合。这些构造与岩体及不同地层、岩性共同控制矿床分布及成矿差异性。

区内岩浆活动具有多期次、多阶段活动的特点。加里东期岩浆活动主要发育于老君山岩体周缘,岩性以黑云母二长花岗岩、白云母二长花岗岩、二云母花岗岩为主(Zhang et al., 2022; Xu et al., 2025),普遍遭受后期的变质作用,多已变为花岗片麻岩。印支期基性岩浆主要分布于个旧、薄竹山岩体周缘,岩性以玄武岩为主。白垩纪中酸性岩浆侵入活动最为强烈,遍布整个矿集区,以个旧、薄竹山、老君山三大岩体为代表。其中,个旧矿集区主要以黑云母花岗岩和花岗闪长岩为主,呈岩株或岩基产出,岩浆源于地壳深部部分熔融及古老地壳物质的再循环过程,具有高硅、富碱及明显轻重稀土分馏特征,并经历了显著结晶分异作用(Cheng et al., 2016);薄竹山岩体表现为多阶段侵入特征,以黑云母花岗岩和花岗斑岩为主;老君山岩体则由花岗闪长岩、似斑状二云母花岗岩和白云母花岗岩组成。这些白垩纪花岗岩普遍具有高分异特征,是区内锡钨多金属的主要成矿母岩(Yang et al., 2025, 2026)。

1.2 区域矿产分布特征

个旧—麻栗坡矿集区由个旧、薄竹山、老君山三个矿集区构成(图 1)。麻栗坡(老君山)矿集区是滇东南锡钨多金属成矿带中成矿元素组合最复杂、成矿作用最具特色的核心成矿区域,以白垩纪老君山高分异复式花岗岩体为成矿核心,区内密集分布都龙(超大型 Sn-Zn-In 矿)、南秧田(超大型 W 矿)、洒西(大型 W-Be 矿)以及新寨(大型 Sn-Cu 矿)、马卡(Pb-Zn-W 矿)、南捞(W-Cu 矿)、长田(W-F 矿)等众多大-中型矿床,近年在岩体南部相继发现并评价了南当厂银铅锌矿、来龙银矿等,为老君山岩体岩浆流体成矿系列最外带的典型矿床;薄竹山矿集区已知矿床(点)10 余个,主要为 Ag、Sn、W、Pb、Zn、Fe、Sb 等金属矿产,近岩体分布官房、腰店等大型钨矿,向外分布白牛厂银多金属矿和下厂银矿等,白牛厂的银、铅锌、钨、锡储量均达大型规模;个旧锡多金属矿集区既是滇东南锡矿带最核心的主矿区,聚集超大规模锡储量,同时产出铜、锌等共伴生金属。近年该区钨矿找矿也取得很大进展。此外,区域内尚分布有少量锑矿。区域矿床分布及典型矿床地质特征详见附图 1 和附表 1。

2 个旧—麻栗坡矿集区多期次成矿年代学

在系统收集该区的成岩成矿年代学数据基础上,对不同构造-岩浆成矿系统用锡钨矿物直接定年,厘定该区发育四期锡钨成矿作用,详细年龄数据见附表 2。

2.1 第一期(437~411 Ma)Sn-W 矿年代学

在老君山岩体北部的新寨锡矿床采集成矿金属矿物锡石,采用 LA-ICP-MS U-Pb 定年获得新寨锡矿化年龄为(428.1±2.7)~(412.8±4.5) Ma(Chen et al., 2025),与以往其他学者在三保锰-银(铅-锌)矿床和南捞钨(铜)矿床获得的成矿年龄(437.1±6.2)~(411.0±4.1) Ma(Du et al., 2020; 白浩, 2021)一致,表明这一期成矿作用在该区广泛发育。

2.2 第二期(230~203 Ma)Sn-W 矿年代学

在老君山岩体东部南秧田(亦称南温河)钨矿床和北部新寨锡矿床,通过南秧田矽卡岩矿物石榴石 U-Pb 测年获得矽卡岩形成年龄为(203.2±8.7) Ma(Zhao et al., 2024),在新寨利用与锡石共生的黑云母 Rb-Sr 测年获得(209.0±2.2)~(203.9±5.3) Ma(Chen et al., 2025),与前人用锡石 U-Pb 定年[(229.7±2.3) Ma; Liu et al., 2023]和白钨矿 Sm-Nd 定年、辉钼矿 Re-Os 定年获得的成矿年龄[(229.9±2.9)~(209.1±3.3) Ma; Liu et al., 2023]基本一致。表明第二期锡钨矿化主要集中于 230~203 Ma。

2.3 第三期(160~140 Ma)W 矿年代学

在南秧田钨矿床对矽卡岩矿体开展了成矿年代学研究,获得符山石 U-Pb 年龄为(145.9±3.1)~(144.4±3.7) Ma,白钨矿 U-Pb 年龄为(145.5±2.9)~(141.5±7.2) Ma(Zhao et al., 2024),辉钼矿 Re-Os 年龄为(151.0±1.3) Ma(王忠强等, 2020),同时,在洒西钨铍矿床花岗岩中获得磷灰石 U-Pb 年龄(147.0±4.0) Ma(Li et al., 2025)。与前人在南捞钨铜矿床中获得的辉钼矿 Re-Os 年龄[(159.3±2.7) Ma; 白浩, 2021]一致,表明该区燕山期成矿作用广泛而强烈。可以看出,南秧田矿床发育两期锡钨成矿作用,具有复合成矿特征。

2.4 第四期(97~76 Ma)Sn-W 矿年代学

第四期 Sn-W 成矿作用在滇东南个旧—麻栗

坡矿集区广泛发育，包括个旧矿集区的马拉格 Sn-Cu 矿、松树脚 Sn-Cu-Pb 矿、高松 Sn-Cu-Pb-Zn 矿、老厂 Sn-Cu 矿、卡房 Sn-Cu-W 矿等矿床，成矿年龄介于 87～76 Ma；薄竹山矿集区的白牛厂 Ag-Pb-Zn-Sn 矿、官房 W 矿等矿床，成矿年龄介于 91～80 Ma；以及麻栗坡矿集区的都龙 Sn-Zn-In 矿、扣哈、董菲、草果山、瓦渣 Sn-W 矿床等，成矿年龄介于 97～79 Ma。该期成矿是个旧—麻栗坡矿集区的成矿高峰时期，且成矿年龄具有由南东向北西逐渐年轻的趋势，反映了岩浆从南东向北西逐步侵位的过程。

个旧—麻栗坡矿集区发生了四期锡钨成矿事件，分别是早志留世—中泥盆世（437～411 Ma）、晚三叠世（230～203 Ma）、晚侏罗世—早白垩世（160～140 Ma）和晚白垩世（97～76 Ma；Xu et al., 2025），大规模成矿集中于晚侏罗世—早白垩世和晚白垩世（图 2；Zhao et al., 2024；Yang et al., 2025）。

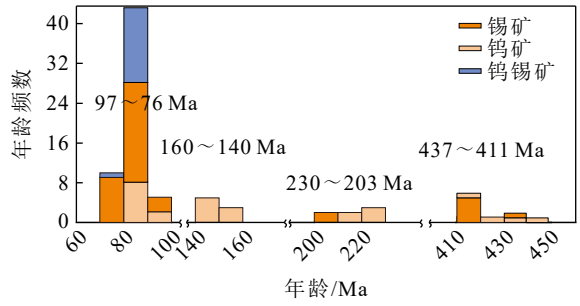


图 2　个旧—麻栗坡矿集区四期锡钨矿床成矿年龄频数直方图

Fig. 2　Histogram of mineralization ages for four episodes of Sn-W deposits in the Gejiu–Malipo district

注：数据来源于 Cheng et al., 2012；李开文等，2013；王小娟等，2014；Zhang et al., 2016, 2020；Guo et al., 2018；Liu et al., 2020, 2023, 2025；白浩，2021；刘益等，2021；Lu et al., 2024；Zhao et al., 2024；Zhang et al., 2024；Chen et al., 2025；Li et al., 2025；Xu et al., 2025。

3　个旧—麻栗坡矿集区锡钨多金属矿床成矿金属来源与活化

该矿集区分布的四期锡钨矿床在南岭和江南成矿带也广泛存在，这些矿床主要沿着长期处于被动大陆边缘环境的古陆边缘分布（图 3）。这些地区积累了巨量沉积物（以元古界、寒武系–奥陶系沉积岩为主），大陆裂解导致巨量沉积物从大陆内部（及裂解后的地壳块体）向新生被动陆缘发生大规模搬运，形成厚达数千米的沉积岩（Romer and Hahne, 2010）。这些沉积岩经历了强烈的风化作用，长石分解，亏损 Na、Ca 和 Sr，富集吸附在黏土矿物和羟基氧化物上的 Sn、W、Li、Be 等金属元素（图 4-A）（Romer and Kroner, 2022；Yang et al., 2026）。研究表明，这些沉积岩是锡钨多金属矿床的重要源岩（Yang et al., 2026）。在汇聚构造背景下，后期再改造导致沉积岩在增生楔中堆叠，并在进变质作用过程中活化 Sn、W、Au，以及在俯冲或碰撞背景下的部分熔融过程中活化 W 和 Sn（Romer and Kroner, 2016, 2022）。

滇东南个旧—麻栗坡、江南和南岭地区的沉积岩具有较高的 Nd 模式年龄（图 4-B）表明，沉积岩继承了其克拉通物源岩的 Nd 同位素组成，且这些 Sn-W 矿带的成矿花岗岩（1.7～1.4 Ga）与古—中元古代变沉积岩（2.1～1.4 Ga）具有相似的模式年龄（图 4-B），表明成矿岩浆主要通过古—中元古代变沉积岩部分熔融作用活化形成（Yang et al., 2026）。

成矿带的矿床年龄通常晚于沉积岩在增生或碰撞背景下发生构造叠加改造的时间，而对应于更年轻的构造事件。个旧—麻栗坡地区锡钨矿床的多期成矿年龄，与环太平洋俯冲–后撤和长期俯冲作用造就的多幕式挤压–回弹伸展作用有关，回弹伸展是华南花岗岩带及钨锡矿带形成的主要机制。华南主要锡钨矿带（个旧—麻栗坡、南岭、江南等）经历了新元古代、古生代和中生代的多期变质作用与花岗岩侵入活动（Yang et al., 2026），发育与侵入岩相关的大型锡、钨矿床，局部还产出铍、金、铟矿床。共同特征包括：（1）多期成矿；（2）成矿时间多晚于相应缝合带的形成时代；（3）晚白垩世等后期事件形成更重要的矿床；（4）不同金属在不同时间被活化。

个旧—麻栗坡地区多期锡钨成矿年龄表明，金属活化的具体构造背景可能并不是决定性因素，关键在于存在合适的源岩和充足的热量供给。短时间内大规模成矿的出现，说明热量供应与大规模构造–岩浆事件相关。这种沿先存长期被动大陆边缘（在活动背景下遭受构造叠加改造）形成的主要锡钨矿带，不局限于华南，也见于西欧华力西锡成矿省、南美洲西缘锡金成矿带、北美洲西缘钨金成矿省以及东南亚锡金成矿带（Yang et al., 2026）。

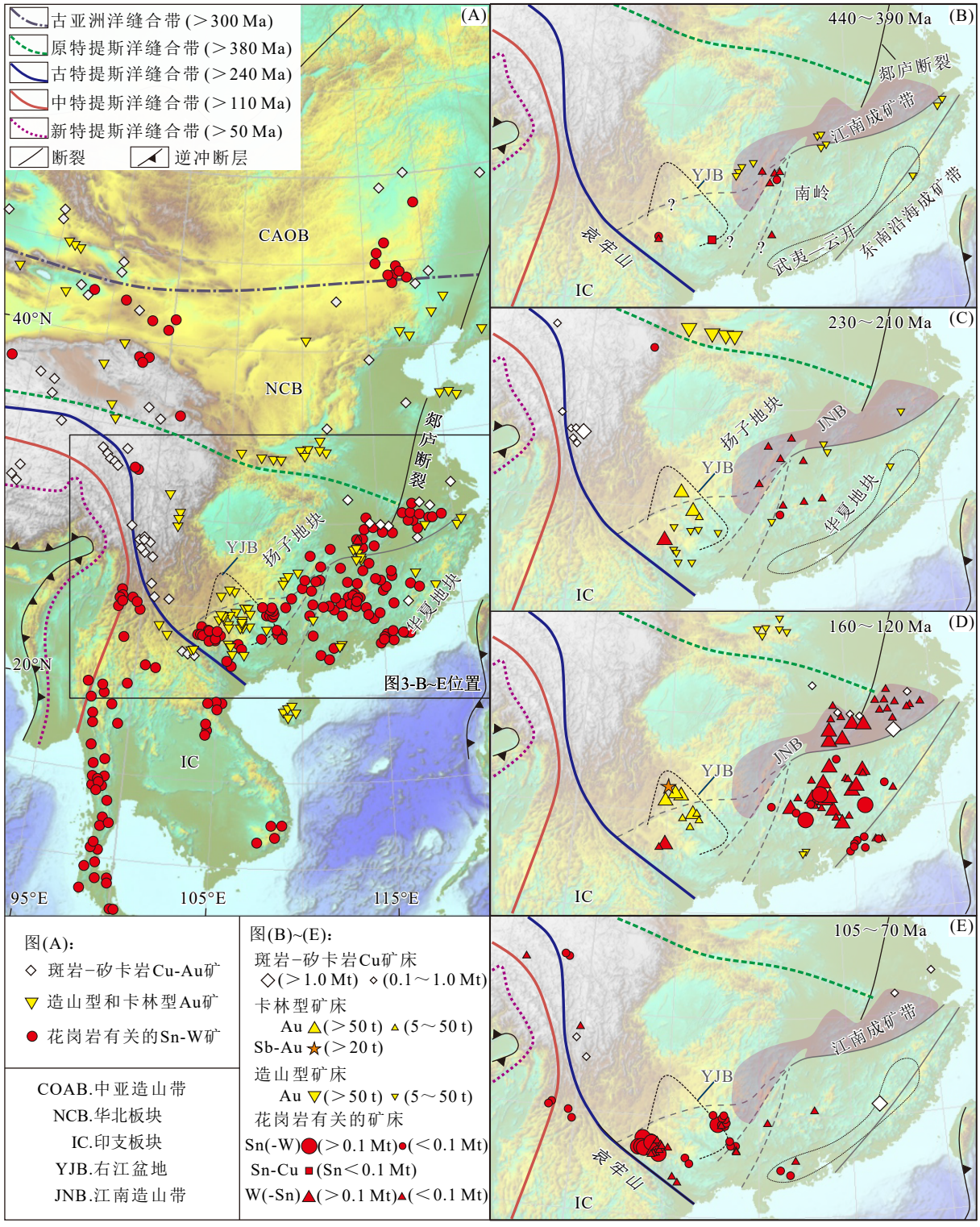


图 3　中国和东南亚地区主要的锡钨金铜矿床分布图(据 Yang et al., 2026 修改)

Fig. 3　Distribution map of major tin, tungsten, gold, and copper deposits in China and Southeast Asia

(A)主要地块、缝合带和显生宙 Sn-W、Au、Cu 矿床分布图;(B)～(E)华南板块不同时期锡钨矿床分布(图 B 中“?”代表推测的界线延伸)

源岩性质决定了部分熔融过程中的矿物组合,从而控制了部分熔融的温压条件、熔体数量和氧化状态,以及残留相矿物组合(Wolf et al., 2018),残留相的矿物组合决定了哪些成矿元素

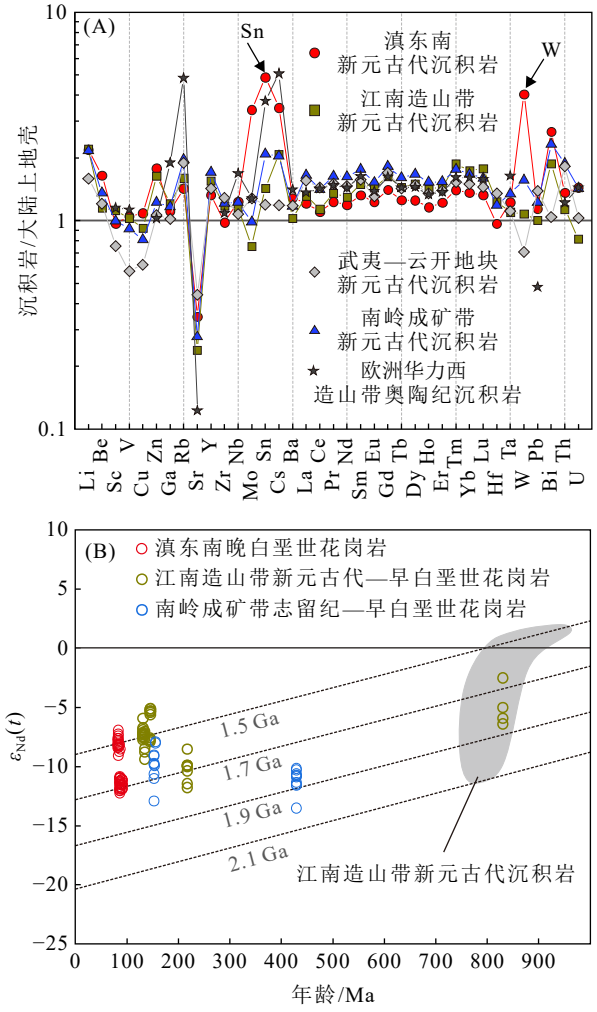


图 4　华南板块和欧洲华力西造山带古老沉积岩的微量元素上地壳标准化图和新元古代沉积岩、新元古代—晚白垩世花岗岩的 t-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 图

Fig. 4　Upper crust-normalized trace element patterns of ancient sediments from the South China and European Variscan orogen, and t-$\varepsilon_{Nd}(t)$ diagram of Neoproterozoic sedimentary rocks and Neoproterozoic–Late Cretaceous Epoch granites

（A）华南板块新元古代沉积岩和欧洲华力西造山带奥陶纪沉积岩的微量元素上地壳标准化图；（B）新元古代沉积岩和新元古代—晚白垩世花岗岩的 t-$\varepsilon_{Nd}(t)$ 图（据 Yang et al., 2026 修改）

会分配进入熔体或从熔体中重新分配到残留相中。金属的活化受控于赋存成矿元素的矿物稳定性，不同成矿元素在不同温压条件下被活化，导致原本富集在同一源岩中的元素被分别活化，可以解释那些在同一源岩中富集的金属矿床在空间上的分离（Romer and Kroner, 2022），这也解释了钨通常在比锡更低的温度下被活化，导致锡、钨分离（Yuan et al., 2019; Zhao et al., 2022）。

4　个旧—麻栗坡矿集区不同期次锡钨成矿作用

4.1　第一期（437～411 Ma）锡钨成矿作用

该期成矿事件形成于早古生代碰撞造山后伸展环境，在此背景下，扬子地块与华夏地块之间的古缝合带因伸展作用而发生张裂，形成了张裂型造山带（刘忠等，2022），该过程可能受到武夷—云开造山带远程效应的影响（Chen et al., 2025）。麻栗坡矿集区加里东期岩浆活动在老君山岩体北部新寨锡矿床周缘可见多处花岗岩露头，在北面嘎机铅锌多金属矿深部钻孔揭露了该期岩体，较多的研究表明，该期锡矿的形成与岩浆活动密切相关（陈智明等，2018; 杜胜江等，2022; Liu et al., 2023; Chen et al., 2025）。事实上，该期锡钨多金属成矿作用在华南板块内部广泛发育，尤其在武夷—云开造山带及其邻区最为显著（Chen et al., 2025; Yang et al., 2026）。

南捞钨铜矿床与新寨锡矿床的赋矿地层均为上元古界新寨岩组（Pt_3x），岩性为云母片岩夹大理岩（陈智明等，2018; Liu et al., 2023; Chen et al., 2025）。在控矿构造方面，新寨锡矿床的矿体主要受矿区近东西走向的断层控制（Chen et al., 2025），南捞钨-铜矿床的矿体及矿化蚀变主要发育于剥离断层附近（陈智明等，2018），剥离断层具有导矿、运矿和储矿等多重功能（白浩，2021）。

本研究在新寨矿床中开展硫同位素测试，获得 $\delta^{34}S$ 值为−2.34‰～−0.45‰，指示岩浆硫特征（Chen et al., 2025），该认识与陈智明等（2018）获得的南捞钨铜矿以岩浆硫为主，同时受少量地层硫混染特征基本一致（图 5-A），表明第一期成矿以岩浆硫为主。流体包裹体测温及单个包裹体成分分析表明成矿流体源自加里东期岩浆出溶，流体冷却是导致金属沉淀的主要机制（Chen et al., 2025）。

4.2　第二期（230～203 Ma）钨锡成矿作用

该期钨锡成矿作用发育较少，以南秧田（亦称南温河）钨矿床（Liu et al., 2023; Zhao et al., 2024）和新寨锡矿床（Chen et al., 2025）为代表。需要注意的是，麻栗坡矿集区未出露晚三叠世花岗岩，该期钨锡成矿作用的形成可能与隐伏花岗岩或变质作用（241～220 Ma; Yan et al., 2006; Yang et al., 2020; Liu et al., 2023; Chen et al., 2025）有关。

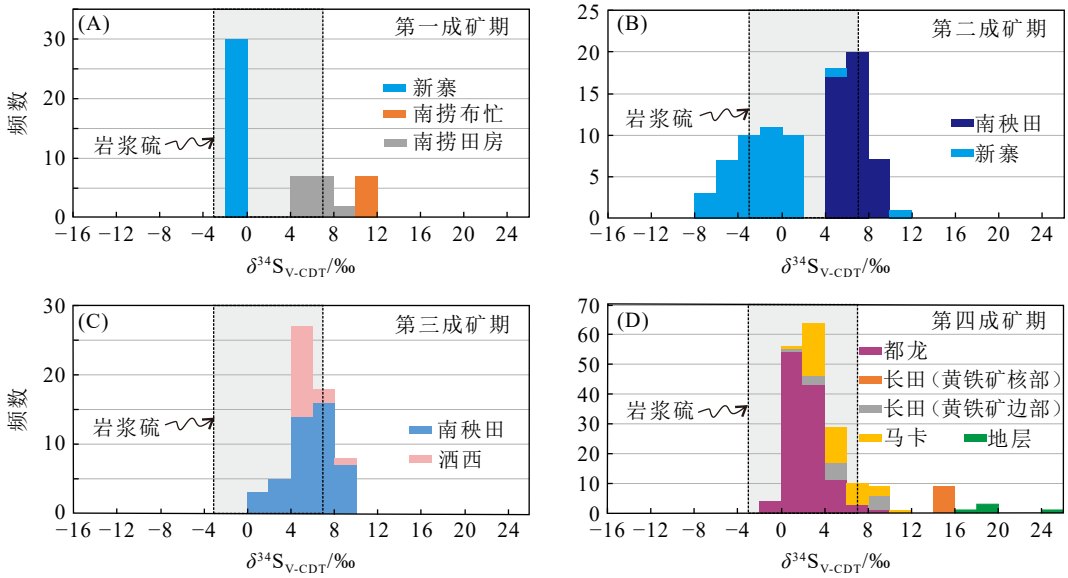


图 5 麻栗坡矿集区四期矿床及地层硫同位素组成频数直方图

Fig. 5 Frequency histogram of sulfur isotope compositions in four episodes of ore deposits and strata of the Malipo ore district

注:数据来源于刘玉平等,2000;何芳等,2014;阙朝阳,2016;陈智明等,2018;许赛华等,2022;刘明军等,2023;Chen et al., 2025;张庆鸽等,2025;Li et al., 2025;李正荣等,2026。

该期构造事件可能源于印支板块与华南板块碰撞挤压引发的区域变质事件(Maluski et al., 2001; Gilley et al., 2003; Yan et al., 2006; Carter and Clift, 2008; 刘忠等, 2022),此过程受北东-南西向挤压作用,导致新元古代变质岩组由南西向北东方向逆冲。南秧田钨矿床矽卡岩型白钨矿主要赋存于南秧田岩组(Pt_1n)云母片岩中(Zhao et al., 2024; Tang et al., 2026),新寨锡矿床锡铜矿主要赋存于新寨岩组第一段(Pt_3x^1)云母片岩夹大理岩中(Chen et al., 2025)。以往其他学者通过白钨矿 Sr 同位素(0.713 2~0.714 9)和 H-O 同位素组成认为南秧田矽卡岩型钨矿成矿流体源自岩浆(王忠强等, 2020; 王彩艳等, 2020; Ren et al., 2024)。本研究在新寨矿床中获得的硫化物 $\delta^{34}S$ 值(-7.87‰~1.09‰),表明该矿床该期成矿流体源自加里东期片麻状花岗岩变质脱挥发分作用产物(Chen et al., 2025);在南秧田矿床中获得硫化物 $\delta^{34}S$ 值为 4‰~10‰,黄铁矿 Se/S 值普遍大于 1,表明南秧田成矿物质源于岩浆流体,但流体上升过程中受地层物质混染(图 5-B; 张庆鸽等, 2025)。

4.3 第三期(160~140 Ma)钨成矿作用

该期成矿作用的代表性矿床类型为石英脉型白钨矿,以洒西钨矿床及南秧田的晚阶段钨矿为代表(Zhao et al., 2024; Li et al., 2025; Tang et al., 2026)。南秧田石英-白钨矿脉主要赋存于下元古界猛硐岩群南秧田岩组二段(Pt_1n^2)云母片岩中,洒西矿床矿体赋存于洒西岩组(Pt_1s)黑云变粒岩中。该期成矿动力学背景一致认为受古太平洋板块北西向俯冲-后撤过程影响,该过程为成矿提供了热源与物质基础(Zhao et al., 2024; Li et al., 2025; Tang et al., 2026)。其他学者根据流体包裹体测温及 H-O 同位素组成认为温度降低、成矿流体与大气降水混合是金属成矿物质发生沉淀的主要机制(盛夏等, 2023)。本研究获得硫化物 $\delta^{34}S$ 值为 0.90‰~9.82‰(图 5-C; Li et al., 2025; 张庆鸽等, 2025),毒砂 S/Fe 平均值为 0.97(Li et al., 2025),白钨矿 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.712 6~0.729 6(Tang et al., 2026),表明成矿流体源自深部隐伏岩体出溶,流体上升过程中受地层物质混染。

4.4 第四期(97~76 Ma)锡钨多金属成矿作用

该期成矿作用的动力学背景存在争议。Zhang et al.(2024)认为该期成矿与新特提斯洋板片的俯冲-回撤有关,Liu et al.(2025)则认为薄竹山以西受新特提斯洋构造演化的影响,而薄竹山与麻栗坡矿集区则与环太平洋构造演化相关。区内赋矿地层存在明显差异,由西向东趋于复杂,个旧矿集区赋矿地层为中三叠统个旧组(T_2g),薄竹山矿集区赋矿地层为寒武系中统大丫口组(ϵ_2d)及田蓬组(ϵ_2t),麻栗坡矿集区赋矿地层则主要为下元古界南秧田岩组(Pt_1n)、上元古界新

寨岩组（Pt_3x）、中寒武统田蓬组（ϵ_2t）以及龙哈组（ϵ_2l；Han et al., 2025；Xu et al., 2025；Yang et al., 2026）。第四期锡钨成矿作用围绕三大花岗岩体发育，三大岩体整体均属于S型高分异花岗岩，但仍然存在细微差别。个旧矿集区花岗质岩浆主要源自古老地层熔融，并有少量幔源组分加入（Cheng et al., 2013）；薄竹山岩体更多显示源自古老地壳变质杂砂岩部分熔融，与矿集区锡成矿事件密切相关（刘学龙等，2024）。老君山花岗岩，岩浆源自中上地壳变质沉积岩部分熔融（Liu et al., 2023；Xu et al., 2025），目前未见有地幔物质参与的明确证据。综上，赋矿地层、岩浆起源及演化过程的差异是形成个旧—麻栗坡地区不同矿产的主要原因。

本研究在个旧矿集区开展白钨矿微量元素及Sr-Nd同位素研究，获得白钨矿 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为0.708 3～0.714 1，当 t=82 Ma 时，$\varepsilon_{Nd}(t)$ 为−10.5～−5.4，表明高分异花岗岩为主要的成矿物质和流体来源，同时受地层物质的混染（Han et al., 2025），该成果与以往其他学者研究认识一致（Cheng et al., 2019；Xu et al., 2021）。铜主要源于三叠纪玄武岩（毛景文等，2008；Cheng et al., 2012；张娟等，2012；Zhang et al., 2015）。H-O同位素表明成矿流体具岩浆水和大气降水混合特征，矿集区流体冷却、压力下降、围岩蚀变、流体沸腾和混合是导致锡石沉淀的主要机制（Liao et al., 2014；Zhang et al., 2020）。

个旧锡矿表现出岩浆穹隆及岩浆流体成矿系统特征。花岗岩具有多期次侵位和分异特征，相应形成成矿分带。随着分异及挥发分的聚集，在岩体顶部发育爆破角砾岩筒或隐爆角砾岩，角砾以个旧组碳酸盐岩围岩为主，可见矽卡岩锡多金属矿石分布其中，表明爆破岩筒具有多期次爆破的性质；角砾间以铁质碳酸盐质胶结，其成分主要为赤铁矿、褐铁矿、方解石等，氧化后为褐铁矿（化）黏土岩。伴随岩浆上侵和岩浆穹隆形成，在岩体顶部还发育张扭性断裂和层间滑动（脱）构造，形成岩体+岩筒+断裂+层间滑脱控矿体系，共同控制岩浆流体成矿系统，其成矿系列表现为：岩体内发育石英脉型锡钨矿，接触带发育矽卡岩锡钨铜矿，向外依次发育矽卡岩锡钨铅锌银矿（矿山称层间氧化矿）、脉状铅锌银矿和银矿。构造–岩浆–流体成矿系统模型见图6。

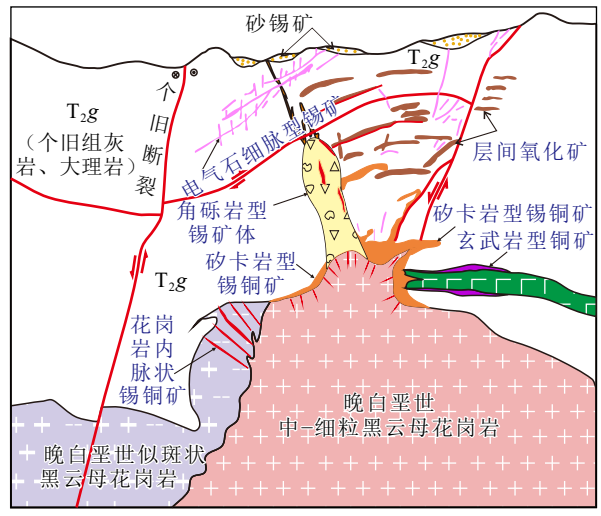


图6　个旧锡铜多金属矿集区岩浆–流体–构造成矿模式图

Fig. 6　Tectonic-magmatic-fluid metallogenic system model of the Gejiu Sn-Cu polymetallic ore district

在薄竹山矿集区官房大型钨矿床，白钨矿微量元素及Sr同位素研究表明，不同阶段钨成矿流体均与薄竹山花岗岩密切相关（Sun et al., 2025）。黄铁矿岩相学和地球化学研究表明，白牛厂银多金属矿床为多期矿化事件在时空上的叠加（Wang et al., 2025）。通过流体包裹体、C-H-O-S-Pb同位素研究表明，成矿流体具有多期次演化特征，主要源于岩浆，受到大气降水混合作用的影响，岩浆硫为主体硫源，并伴随地层硫混染（米雪，2025）。除此之外，矿集区部分黄铁矿显示生物还原硫和古海水硫酸盐硫特征（图7；张洪培，2007；Xie et al., 2009；蹇龙，2016；李开文等，2018）。通过流体包裹体研究表明，流体温度、压力下降和流体与围岩间的作用是矿区内金属沉淀的主要成矿机制（米雪，2025）。

围绕薄竹山岩体形成了花岗岩与围岩接触

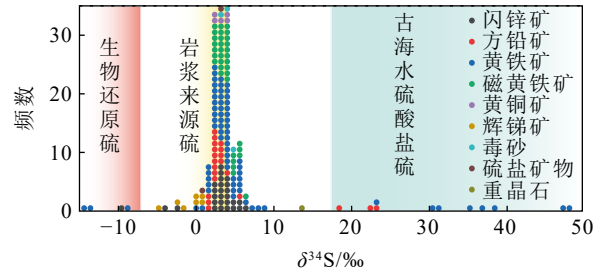


图7　薄竹山矿集区S同位素分布图

Fig. 7　Sulfur isotope distribution map of the Bozhushan ore district

注：数据引自李晓波，2005；张洪培，2007；Xie et al., 2009；蹇龙，2016；李开文等，2018；曹原，2022。

带的矽卡岩型 W、Sn、Fe 矿床(官房、菖蒲塘等)、碎屑岩-碳酸盐建造中的岩浆热液型 Ag、Pb-Zn、Sn、Cu 矿床(白牛厂)及外围地层中低温热液型 Sb 矿(茅山洞)的分带特征,构成较为完整的与花岗岩有关的岩浆热液成矿系统(图 8;刘学龙等, 2024; Wang et al., 2025; 米雪, 2025)。

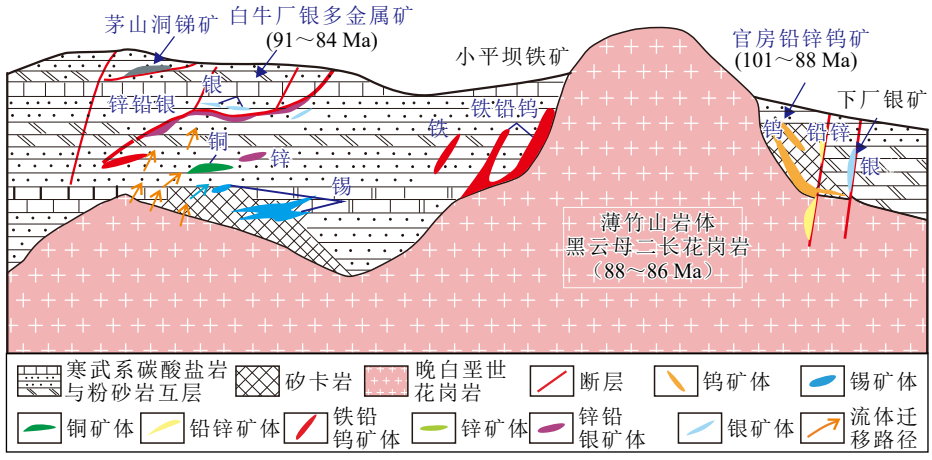


图 8 薄竹山矿集区锡银钨多金属矿床成矿模式图

Fig. 8 Metallogenic model of Sn-Ag-W polemetallic deposits in the Bozhushan ore district

麻栗坡矿集区锡钨多金属成矿作用围绕老君山复式岩体及周缘广泛发育,该期成矿作用包括云英岩型、矽卡岩型和石英脉型。其他学者通过年代学(97～79 Ma; Liu et al., 2023; Zhang et al., 2024)、硫同位素 $\delta^{34}S$(0.60‰～9.65‰; 许赛华等, 2022; 刘明军等, 2023)等研究表明矿集区锡钨成矿物质主要源自老君山复式岩体,伴随少量地层混染;岩浆流体与大气降水混合(Lai et al., 2026)和流体-岩石相互作用(Liu et al., 2021)是导致锡钨沉淀的重要机制。

本研究通过黑钨矿、锡石 U-Pb 定年在老君山复式岩体北东部草果山、董菲等矿床中新厘定了晚阶段(83～80 Ma)锡钨成矿事件(Xu et al., 2025)。在长田矿床通过白钨矿微量元素、Sr 同位素($^{87}Sr/^{86}Sr$=0.722 1～0.731 4)和硫同位素($\delta^{34}S$=1.9‰～16.9‰)分析表明,成矿流体主要为老君山复式岩体出溶的岩浆热液,成矿物质主要来自岩浆,受地层物质的混染(图 5-D; 李正荣等, 2026; Tang et al., 2026)。温度和盐度均低于矿集区其他矿床,可能指示岩浆热液远程运移的产物,沉淀机制主要为降温及大气降水混合(李正荣等, 2026)。在马卡矿床通过白钨矿微量元素及 Sr 同位素研究表明,马卡矿床成矿流体具有多源性,主成矿阶段岩浆流体为主,而晚阶段钨矿显示出变质流体亲缘性(Lai et al., 2026)。综上,麻栗坡矿集区第四期成矿流体可能具有多源性,以老君山复式岩体岩浆出溶流体为主,受后期变质流体叠加改造,成矿物质主要源自岩浆,随着远离老君山复式岩体,地层物质混染逐渐增强。

与个旧和薄竹山矿集区相似,麻栗坡矿集区也具有一定的成矿元素分带,从白垩纪老君山复式花岗岩内部云英岩型/石英脉型锡钨矿(扣哈、草果山、董菲等; Xu et al., 2025)、花岗岩与围岩接触带锡锌铟矿(都龙等),到岩体远端铅锌钨矿(马卡、长田等)和银矿(南当厂等),构成完整的高温→中低温热液成矿系统(图 9)。

5 个旧—麻栗坡矿集区晚白垩世“构造-岩浆-流体”成矿系统模型

通过对区域典型矿床的系统解剖,本文建立了滇东南个旧—麻栗坡矿集区晚白垩世岩浆流体-成矿系统模型(图 10),该模型揭示了以晚白垩世花岗岩(100～75 Ma)为核心,岩浆流体自岩体内部向远端运移,在不同构造部位与围岩条件下形成一系列具有明确空间分带特征的矿化组合,自岩体内部向外构成了一个完整的岩浆热液成矿系统。以晚白垩世花岗岩为核心,岩体内部发育石英脉型 Sn-W 矿化,在个旧和老君山地区广泛出露,在花岗岩凹陷处及与

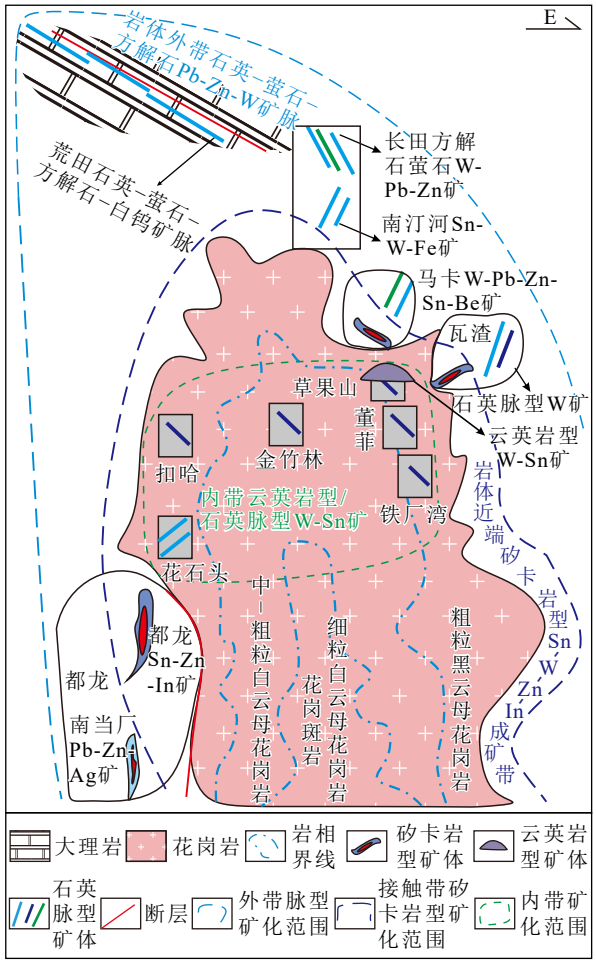


图 9　麻栗坡矿集区晚白垩世锡钨多金属矿床成矿模式图

Fig. 9　Metallogenic model of Late Cretaceous Epoch Sn-W polymetallic deposits in the Malipo ore district

大理岩接触带矽卡岩+构造岩筒+断裂-层间滑脱控矿的 Sn-Cu 矿化（个旧式）；在岩体侵入角度由陡变缓的过渡部位，岩体顶部断裂带+层间滑脱控制的 W 矿化（官房式）；岩体顶部层状矽卡岩+滑脱构造控制的层状-似层状 Sn-Zn-In 矿化（都龙式）。随着成矿流体向岩体外侧及远端围岩迁移，在碳酸盐岩地层中形成受构造控制的系列矿化组合：Ag-Pb-Zn-Sn 矿化（白牛厂式）；岩体远端碎屑岩-碳酸盐岩互层容矿的脉状 Ag 矿化（来龙、下厂等）。其中，来龙是近期勘查的一个矿床，获得高品位 Ag 矿体，矿体平均厚 2～5 m，平均品位（质量分数）达（2.0～2.4）×10^{-4}，推断资源量达中型。这一完整的空间分带序列，反映了岩浆流体在运移过程中因温度、压力、围岩性质及构造条件的差异，形成了从高温矽卡岩型锡钨多金属→中低温热液脉型铅锌银矿的完整成矿系列。

6　个旧—麻栗坡矿集区多期多层位复合成矿模型

滇东南个旧—麻栗坡锡钨多金属成矿带由西向东成矿期次逐渐增多，成矿元素组合也趋于多元演化。个旧、薄竹山、麻栗坡三大矿集区均发育晚白垩世花岗岩，但三者花岗岩的岩浆源区存在差异，从而导致了各区不同的矿化组合和矿化类型（图 11）。其中，个旧矿集区以锡铜矿化为主，钨矿化次之；薄竹山矿集区则以银铅锌钨矿化为主；麻栗坡地区则发育锡钨锌铟银多金属矿化。

个旧矿集区在物质来源方面，东、西区花岗岩存在显著差异，西区龙岔河和神仙水岩体为受幔源物质影响的壳幔混源型准铝质 I 型花岗岩，而东区高松、老厂、老卡等成矿岩体则主要来源于变沉积岩部分熔融形成的过铝质 S 型花岗岩（陈世垒等，2025）。晚白垩世（95～83 Ma）陆内造山作用引发大规模岩浆活动，深部岩浆房通过分离结晶先后形成～94 Ma 的黑云母二长花岗岩和～72 Ma 的白云母碱长花岗岩（Wang et al., 2019），高度演化的花岗岩浆自身携带巨量锡、钨、钼、铋等成矿物质，其岩浆期后气化-热液又萃取了地层中预富集的铅、锌、银等金属，最终在花岗岩体内外接触带形成矽卡岩型锡铜多金属硫化物矿，在岩体内部形成蚀变岩型锡铜多金属矿，在远离岩体的层间形成脉状或层间氧化矿，构成了“多类型、多矿种、多位一体”的复合格局。

薄竹山矿集区的成矿模式体现了“多期岩浆演化”与“多层位控矿”的成矿特征。薄竹山花岗岩主要源于古—中元古代地壳物质的部分熔融。钨矿化与高分异 S 型花岗岩相关，提供了物质来源（Liu et al., 2025）；银矿化主要由岩浆热液往浅部运移过程中萃取了寒武系围岩地层中预富集的银、铅、锌等金属（刘学龙等，2024；Wang et al., 2025）。

麻栗坡（老君山）矿集区记录了志留纪—晚白垩世的多期次成矿事件。早古生代锡钨（铜）矿化（437～411 Ma；新寨、南捞等）与志留纪高分异花岗质岩浆活动密切相关（Chen et al., 2025），志留纪高分异花岗岩侵位过程中出溶的含矿流体沿层理或断层运移，与碳酸盐岩发生交代作用形成矽卡岩型锡钨矿（Du et al., 2020；Liu et al.,

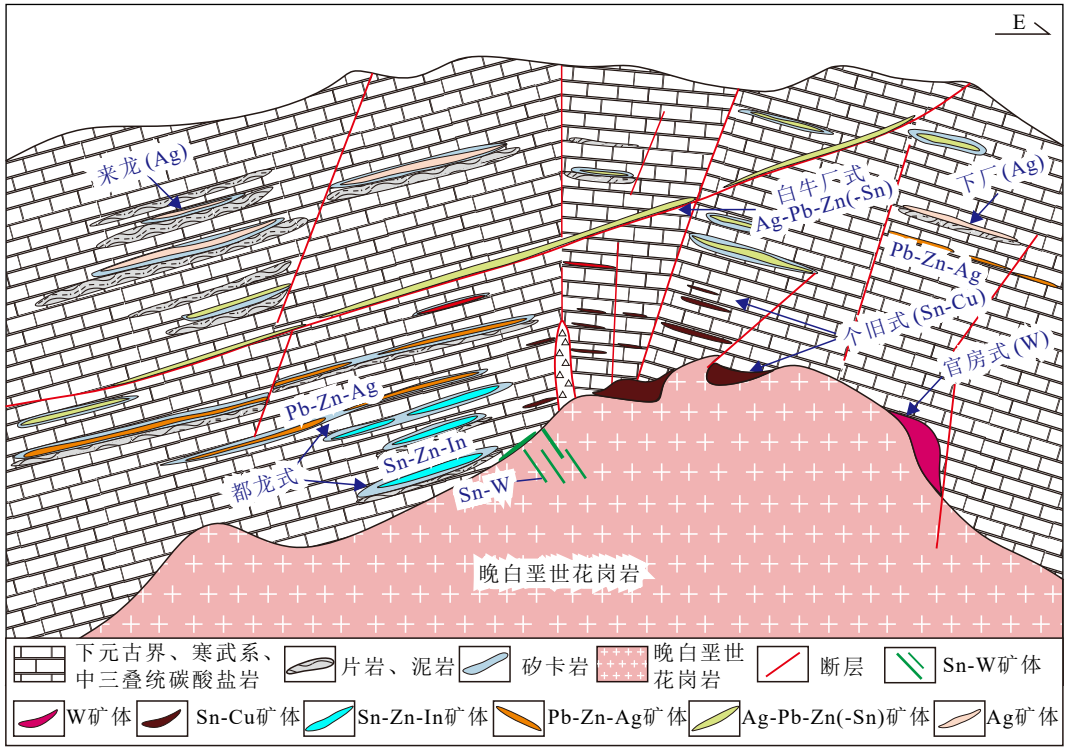


图 10 滇东南个旧—麻栗坡矿集区晚白垩世构造–岩浆–流体成矿系统模型

Fig. 10 Late Cretaceous Epoch tectonic-magmatic-fluid metallogenic system model of the Gejiu−Malipo ore district

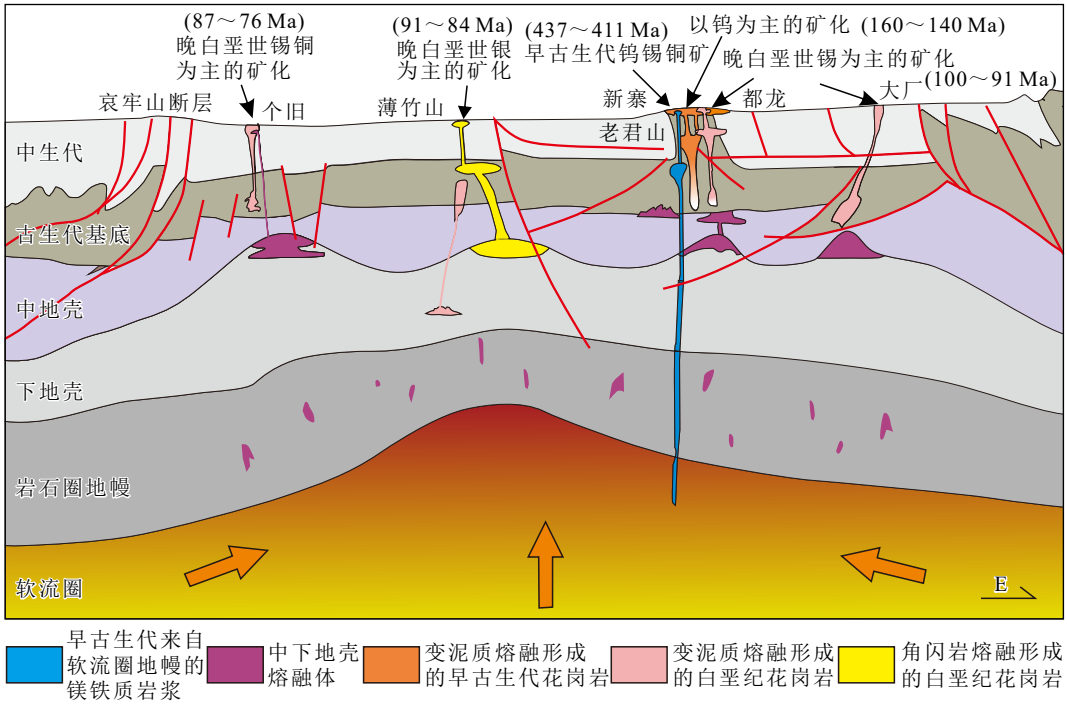


图 11 滇东南个旧—麻栗坡地区多期多类型锡钨(铜)多金属矿床成矿模型

Fig. 11 Metallogenic model of multistage and multi-type Sn-W(-Cu) polymetallic deposits in the Gejiu−Malipo district, southeastern Yunnan

2023; Chen et al., 2025)。晚侏罗世—早白垩世(160～140 Ma)矿化类型以矽卡岩型–石英脉型钨矿化(南秧田和洒西)为主,矿床的形成与燕山早期隐伏岩体密切相关,成矿流体出溶后经长距离运移,使早期晚三叠世形成的钨矿化叠加富集,形成大量垂直于地层及顺层展布的矽卡岩型

钨矿和长石-石英脉型钨矿化，流体混合（岩浆流体+大气降水）与水岩反应共同促进了成矿金属的大量沉淀（Zhao et al., 2024; Li et al., 2025; Tang et al., 2026）。晚白垩世（97～79 Ma）锡多金属矿化（都龙等），与大厂锡多金属矿床的成矿时限基本一致，矿化与变泥质岩部分熔融形成的晚白垩世高分异花岗岩有关，构成区内一期重要的锡多金属成矿峰期。

7　结论

（1）个旧—麻栗坡矿集区发育四期锡钨成矿事件，分别为：早志留世—中泥盆世（437～411 Ma）、晚三叠世（230～203 Ma）、晚侏罗世—早白垩世（160～140 Ma）和晚白垩世（97～76 Ma）。其中锡矿具有三期成矿特征，大规模锡矿主要集中于晚白垩世（个旧、都龙等）；钨矿具有四期成矿特征，大规模成矿集中于晚侏罗世—早白垩世（南秧田等）和晚白垩世（官房等）。

（2）个旧—麻栗坡锡钨矿集区成矿花岗岩与古老变沉积岩具有相似的模式年龄（2.1～1.4 Ga），表明富集 Sn、W 等成矿金属的岩浆主要源于古元古代—中元古代变沉积岩的部分熔融，而不同的源区活化条件决定了成矿金属元素组合。

（3）构建了个旧—麻栗坡矿集区与花岗岩有关的晚白垩世“构造-岩浆-流体”成矿系统，从岩体内、接触带到远端形成：岩体内部及顶部的石英脉型和云英岩型 Sn-W 矿（个旧、董菲等）、接触带矽卡岩-构造岩筒+断裂-层间滑脱控矿的 Sn(-Cu)矿（个旧式）、岩体顶部断裂带+层间滑脱的矽卡岩 W 矿（官房式）→岩体顶部层状矽卡岩-滑脱构造控矿的 Sn-Zn-In 矿（都龙式）、远端碎屑岩-碳酸盐岩互层容矿型 Ag 矿（来龙、下厂等），形成了从高温矽卡岩型锡钨多金属→中低温热液脉型铅锌银矿的完整成矿系列。

（4）建立个旧—麻栗坡矿集区锡钨多金属矿床的多期多层位复合成矿模型，为区域找矿勘查提供指导，为同类型锡钨多金属矿床研究提供借鉴。

附加材料：附图和附表由作者提供，数据真实性由作者负责，在线查看网址：https://xbzrkx.cdut.edu.cn/article/doi/10.12474/cdlgzrkx.2026052501。

利益冲突声明：本文所有作者声明本研究无任何利益冲突。所有作者均阅读并同意最终稿件的提交。

作者贡献声明：李文昌、杨富成参与论文构思和写作；江小均、刘学龙、邓明国、徐忠彪、韩嶂、陆波德参与数据收集、图件绘制、论文写作。所有作者均阅读并同意稿件的提交和发表。

致谢：野外工作中得到云南锡业股份有限责任公司、文山麻栗坡紫金钨业集团有限公司的鼎力帮助和支持，论文撰写过程中得到个旧—麻栗坡项目组其他成员以及德国地球科学研究中心 Rolf L. Romer 教授提供的大量帮助，两位匿名审稿人对本文提出了宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

[参 考 文 献]

白浩, 2021. 滇东南老君山南捞钨铜矿床地质特征及成因探讨[D]. 北京：中国地质大学（北京）：1—61.

Bai H, 2021. Geological characteristics and origin discussion of the Nanlao W-Cu deposit in Laojunshan, SE Yunnan[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 1—61. (in Chinese)

曹原, 2022. 滇东南白牛厂银多金属矿床中闪锌矿稀散元素的超常富集机制[D]. 昆明：云南大学：1—67.

Cao Y, 2022. The super-enrichment mechanism of spersed elements in sphalerite in Bainiuchang silver polymetallic deposit in southeast Yunnan[D]. Kunming: Yunnan University: 1—67. (in Chinese)

陈世垒, 李超, 江小均, 等, 2025. 岩浆源区和分异演化对锡成矿作用限制：来自个旧锡矿集区花岗杂岩体斜长石地球化学证据[J/OL]. 矿物学报, 2025-09-18. https://link.cnki.net/urlid/52.1045.p.20250916.2350.001.

Chen S L, Li C, Jiang X J, et al., 2025. Constraints of the sources and crystallization diffrentiation evolution of magmas on the tin metallogenesis: evidences from geochemical characteristics of plagioclases in granites of the Gejiu tin deposit[J/OL]. Acta Mineralogica Sinica, 2025-09-18. https://link.cnki.net/urlid/52.1045.p.20250916.2350.001.(in Chinese)

陈智明, 王大鹏, 李山志, 2018. 滇东南南捞铜钨矿床 S-Pb 同位素特征[J]. 矿物学报, 38(2): 196—204.

Chen Z M, Wang D P, Li S Z, 2018. Sulfur and lead isotopic geochemistry of Nanlao Cu-W deposit in southeastern Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 38(2): 196—204. (in Chinese)

邓军, 王庆飞, 陈福川, 等, 2020. 再论三江特提斯复合成矿系统[J]. 地学前缘, 27(2): 106—136.

Deng J, Wang Q F, Chen F C, et al., 2020. Further discussion on the Sanjiang Tethyan composite metallogenic system[J]. Earth Science Frontiers, 27(2): 106—136. (in Chinese)

杜胜江, 温汉捷, 张锦让, 等, 2022. 滇东南老君山矿集区马卡钨铍稀有金属矿床花岗岩年代学归属[J]. 矿物学报, 42(3): 257—269.

Du S J, Wen H J, Zhang J R, et al., 2022. A study on isotopic chronology of granites in the Maka W-Be polymetallic deposit of the Laojunshan ore-concentrated district, SE Yunnan, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 42(3): 257—269. (in Chinese)

何芳, 张乾, 王大鹏, 等, 2014. 云南都龙 Sn-Zn 多金属矿床成矿物质来源——硫、碳、氧稳定同位素证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 33(6): 900—907.

He F, Zhang Q, Wang D P, et al., 2014. Ore-forming material sources of the Dulong Sn–Zn polymetallic deposit, Yunnan: evidence from stable S–C–O isotopes[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 33(6): 900—907. (in Chinese)

蹇龙, 2016. 云南蒙自白牛厂超大型银多金属矿床叠加成矿系统及成矿模式[D]. 昆明: 昆明理工大学: 1—226.

Jian L, 2016. Superimposed mineralization system and metallogenic model of Bainiuchang super large polymetallic deposits, southeastern Yunnan, China[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology: 1—226. (in Chinese)

蒋少涌, 赵葵东, 姜海, 等, 2020. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展[J]. 科学通报, 65(33): 3730—3745.

Jiang S Y, Zhao K D, Jiang H, et al., 2020. Spatiotemporal distribution, geological characteristics and metallogenic mechanism of tungsten and tin deposits in China: an overview[J]. Chinese Science Bulletin, 65(33): 3730—3745. (in Chinese)

李开文, 张恺, 郭君功, 等, 2018. 云南白牛厂银多金属矿床硫同位素组成及滇东南多金属矿找矿远景[J]. 金属矿山, (10): 138—140.

Li K W, Zhang K, Guo J G, et al., 2018. Sulfur isotopic composition of Bainiuchang Ag-polymetallic deposit and the prospecting prospective for polymetallic deposit of southern Yunnan Province[J]. Metal Mine, (10): 138—140. (in Chinese)

李开文, 张乾, 王大鹏, 等, 2013. 云南蒙自白牛厂多金属矿床锡石原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年代学[J]. 矿物学报, 33(2): 203—209.

Li K W, Zhang Q, Wang D P, et al., 2013. LA-MC-ICP-MS U-Pb geochronology of cassiterite from the Bainiuchang polymetallic deposit, Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 33(2): 203—209. (in Chinese)

李睿昱, 覃小锋, 王宗起, 等, 2024. 滇东南板仑磁铁矿集区矽卡岩矿物学、地球化学特征及其形成机制[J]. 岩石学报, 40(4): 1205—1230.

Li R Y, Qin X F, Wang Z Q, et al., 2024. Mineralogical, geochemical characteristics and formation mechanism of skarns in Banlun magnetite ore cluster area, southeastern Yunnan[J]. Acta Petrologica Sinica, 40(4): 1205—1230. (in Chinese)

李晓波, 2005. 云南省蒙自县白牛厂银多金属矿床成矿地质特征及成矿模式[D]. 长沙: 中南大学: 1—90.

Li X B, 2005. The ore-forming geological features and metallogenic pattern of Bainiuchang poly-metal deposit in Mengzi County, Yunnan Province[D]. Changsha: Central South University: 1—90. (in Chinese)

李正荣, 邓明国, 陈应华, 等, 2026. 滇东南长田白钨–萤石矿床成因: 来自金红石 U–Pb 定年和黄铁矿原位硫同位素制约[J]. 矿物学报, 46(2): 185—199.

Li Z R, Deng M G, Chen Y H, et al., 2026. The genesis of the Changtian scheelite-fluorite deposit in the southeastern Yunnan: constraints from the rutile U-Pb dating data and in-situ sulfur isotopes of pyrites[J]. Acta Mineralogica Sinica, 46(2): 185—199. (in Chinese)

刘明军, 杨光树, 陈爱兵, 等, 2023. 滇东南马卡铅锌钨矿床成因: 闪锌矿 Rb-Sr、锡石 U-Pb 定年和硫化物原位硫、铅同位素制约[J]. 岩石学报, 39(6): 1861—1879.

Liu M J, Yang G S, Chen A B, et al., 2023. Genesis of the Maka Pb-Zn-W deposit in southeastern Yunnan: constraints from sphalerite Rb-Sr dating, cassiterite U-Pb dating and in-situ S, Pb isotopes of sulfide[J]. Acta Petrologica Sinica, 39(6): 1861—1879. (in Chinese)

刘学龙, 李文昌, 张世涛, 等, 2024. 滇东南薄竹山矿集区晚白垩世岩浆活动及锡银铅锌钨多金属成矿作用[J]. 沉积与特提斯地质, 44(2): 437—453.

Liu X L, Li W C, Zhang S T, et al., 2024. The Late Cretaceous magmatism and Sn-Ag-Pb-Zn-W polymetallic mineralization in Bozhushan ore concentration area, southeast Yunnan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 44(2): 437—453. (in Chinese)

刘益, 孔志岗, 陈港, 等, 2021. 滇东南官房钨矿床石榴子石原位 LA-SF-ICP-MS U-Pb 定年及地质意义[J]. 岩石学报, 37(3): 847—864.

Liu Y, Kong Z G, Chen G, et al., 2021. In-situ LA-SF-ICP-MS U-Pb dating of garnet from Guanfang tungsten deposit in southeastern Yunnan Province and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 37(3): 847—864. (in Chinese)

刘玉平, 李朝阳, 谷团, 等, 2000. 都龙锡锌多金属矿床成矿物质来源的同位素示踪[J]. 地质地球化学, 28(4): 75—82.

Liu Y P, Li C Y, Gu T, et al., 2000. Isotopic constraints on the source of ore-forming materials of Dulong Sn-Zn polymetallic dsposit, Yunnan[J]. Geology-Geochemistry, 28(4): 75—82. (in Chinese)

刘忠, 曹淑云, 董彦龙, 等, 2022. 滇东南老君山片麻岩穹窿变形

构造与剥露过程[J]. 中国科学：地球科学，52(1)：53—80.

Liu Z, Cao S Y, Dong Y L, et al., 2021. Deformation structure and exhumation process of the Laojunshan gneiss dome in southeastern Yunnan of China[J]. Science China Earth Sciences, 64(12): 2190—2216.

毛景文，程彦博，郭春丽，等，2008. 云南个旧锡矿田：矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报，82(11)：1455—1467.

Mao J W, Cheng Y B, Guo C L, et al., 2008. Gejiu tin polymetallic ore-field: deposit model and discussion for several points concerned[J]. Acta Geologica Sinica, 82(11): 1455—1467.（in Chinese）

米雪，2025. 滇东南白牛厂银铅锌多金属矿床岩浆活动及成矿作用研究[D]. 昆明：昆明理工大学：1—98.

Mi X, 2025. Study on magmatic activity and mineralization of the Bainiuchang silver-lead-zinc polymetallic deposit in southeastern Yunnan[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology: 1—98.（in Chinese）

阙朝阳，2016. 云南麻栗坡南温河—洒西一带钨成矿系统及找矿方向研究[D]. 北京：中国地质大学(北京)：1—233.

Que C Y, 2016. Tungsten metallogenic system and prospecting direction in the Nanwenhe-Saxi area, Malipo County, Yunnan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 1—233.（in Chinese）

盛夏，张达，阙朝阳，等，2023. 滇东南洒西钨铍矿床成矿流体来源和演化：来自流体包裹体和 H-O 同位素证据[J]. 地质科技通报，42(1)：158—169.

Sheng X, Zhang D, Que C Y, et al., 2023. Sources and evolution of ore-forming fluids from the Saxi tungsten-beryllium deposit in southeastern Yunnan Province: evidence from fluid inclusions and H-O isotopes[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 42(1): 158—169.（in Chinese）

王安建，李建武，刘固望，等，2025. 全球矿产资源形势报告[R]. 北京：中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心.

Wang A J, Li J W, Liu G W, et al., 2025. Report on the global mineral resources situation[R]. Beijing: Global Mineral Resources Strategy Research Center, Chinese Academy of Geological Sciences.（in Chinese）

王彩艳，任涛，王蝶，等，2020. 滇东南南秧田超大型钨矿床流体包裹体及 H、O 同位素研究[J]. 大地构造与成矿学，44(1)：103—118.

Wang C Y, Ren T, Wang D, et al., 2020. Fluid inclusion and hydrogen-oxygen isotope study of the Nanyangtian super large tungsten deposit, southeastern Yunnan Province[J]. Geotectonica et Metallogenia, 44(1): 103—118.（in Chinese）

王小娟，刘玉平，缪应理，等，2014. 都龙锡锌多金属矿床 LA-MC-ICP-MS 锡石 U-Pb 测年及其意义[J]. 岩石学报，30(3)：867—876.

Wang X J, Liu Y P, Miao Y L, et al., 2014. In-situ LA-MC-ICP-MS cassiterite U-Pb dating of Dulong Sn-Zn polymetallic deposit and its significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(3): 867—876.（in Chinese）

王忠强，李超，张定才，等，2020. 滇东南南秧田钨矿床白钨矿原位 Sr 同位素对成矿的指示[J]. 岩矿测试，39(2)：285—299.

Wang Z Q, Li C, Zhang D C, et al., 2020. Implication of *in situ* Sr isotope of scheelite for tungsten mineralization: a case study of the Nanyangtian scheelite deposit, southeast Yunnan, China[J]. Rock and Mineral Analysis, 39(2): 285—299.（in Chinese）

许赛华，任涛，白鑫，等，2022. 滇东南都龙 Sn-Zn 多金属矿床交生硫化物微区主量元素、硫同位素特征及成因研究[J]. 矿床地质，41(4)：741—750.

Xu S H, Ren T, Bai X, et al., 2022. In-situ major elements and sulfur isotope analysis of intergrowth sulfide in Dulong Sn-Zn polymetallic deposit, SE Yunnan and study on their genesis[J]. Mineral Deposits, 41(4): 741—750.（in Chinese）

张洪培，2007. 云南蒙自白牛厂银多金属矿床——与花岗质岩浆作用有关的超大型矿床[D]. 长沙：中南大学：1—162.

Zhang H P, 2007. Bainiuchang super-large silver-polymetallic ore deposit related to granitic magmatism in Mengzi, Yunnan, China[D]. Changsha: Central South University: 1—162.（in Chinese）

张娟，毛景文，程彦博，等，2012. 个旧卡房层状铜矿床金云母和云英岩化白云母^{40}Ar-^{39}Ar 同位素年龄及意义[J]. 矿床地质，31(6)：1149—1162.

Zhang J, Mao J W, Cheng Y B, et al., 2012. ^{40}Ar-^{39}Ar phlogopite dating of stratified ore body and muscovite dating of greisens from Xinshan granite intrusion of Kafang tin-copper deposit in Gejiu area, Yunnan Province[J]. Mineral Deposits, 31(6): 1149—1162.（in Chinese）

张庆鸽，赵晓瑜，邓明国，等，2025. 滇东南南秧田钨矿床成因：来自硫化物原位微量元素及硫同位素证据[J]. 矿物岩石地球化学通报，44(3)：646—661.

Zhang Q G, Zhao X Y, Deng M G, et al., 2025. Genesis of the Nanyangtian W deposit in southeastern Yunnan: evidences from in situ analyses of trace element and sulfur isotope in sulfides[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 44(3): 646—661.（in Chinese）

Carter A, Clift P D, 2008. Was the Indosinian orogeny a Triassic mountain building or a thermotectonic reactivation event?[J]. Comptes Rendus Géoscience, 340(2/3): 83—93.

Chen Y H, Li W C, Lan T G, et al., 2025. Two magmatic-hydrothermal events in Xinzhai Sn polymetallic deposit, Yunnan Province, China: constraints from cassiterite U-Pb geochronology and elemental compositions of single fluid inclusions[J]. Gondwana Research, 144: 123—150.

Cheng Y B, Mao J W, Liu P, 2016. Geodynamic setting of Late Cretaceous Sn-W mineralization in southeastern Yunnan and northeastern Vietnam[J]. Solid Earth Sciences, 1(3): 79—88.

Cheng Y B, Mao J W, Rusk B, et al., 2012. Geology and genesis of Kafang Cu-Sn deposit, Gejiu district, SW China[J]. Ore Geology Reviews, 48: 180—196.

Cheng Y B, Mao J W, Spandler C, 2013. Petrogenesis and geodynamic implications of the Gejiu igneous complex in the western Cathaysia block, South China[J]. Lithos, 175/176: 213—229.

Cheng Y B, Spandler C, Kemp A, et al., 2019. Controls on cassiterite (SnO_2) crystallization: evidence from cathodoluminescence, trace-element chemistry, and geochronology at the Gejiu tin district[J]. American Mineralogist, 104(1): 118—129.

Du S J, Wen H J, Liu S R, et al., 2020. Mineralogy and metallogenesis of the Sanbao Mn-Ag (Zn-Pb) deposit in the Laojunshan ore district, SE Yunnan Province, China[J]. Minerals, 10(8): 650.

Gilley L D, Harrison T M, Leloup P H, et al., 2003. Direct dating of left-lateral deformation along the Red River shear zone, China and Vietnam[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108(B2): 2127.

Guo J, Zhang R Q, Li C Y, et al., 2018. Genesis of the Gaosong Sn-Cu deposit, Gejiu district, SW China: constraints from *in situ* LA-ICP-MS cassiterite U-Pb dating and trace element fingerprinting[J]. Ore Geology Reviews, 92: 627—642.

Han Z, Li C, Chen Y K, et al., 2025. Trace element geochemistry and Sr-Nd isotopic characteristics of scheelite from the Gejiu Sn-Cu-(W) ore district: constraints on tungsten sources and evolution of W-bearing hydrothermal fluids[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 99(4): 1093—1104.

Lai J H, Chen Y H, Deng M G, et al., 2026. In-situ texture and geochemistry of scheelite from the Maka W polymetallic deposit: implications for late Yanshanian W metallogeny in southeastern Yunnan Province, China[J/OL]. Acta Geochimica, 2026-04-10. https://link.springer.com/article/10.1007/s11631-026-00866-2.

Li W B, Deng M G, Weng Q, et al., 2025. Arsenopyrite reveals the deuteric origin of the Saxi tungsten deposit, SW China[J]. Acta Geochimica, 44(6): 1276—1292.

Liao S L, Chen S Y, Deng X H, et al., 2014. Fluid inclusion characteristics and geological significance of the Xi'ao copper–tin polymetallic deposit in Gejiu, Yunnan Province[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 79: 455—467.

Liu S Y, Liu Y P, Ye L, et al., 2021. Genesis of Dulong Sn-Zn-in polymetallic deposit in Yunnan Province, South China: insights from cassiterite U-Pb ages and trace element compositions[J]. Minerals, 11(2): 199.

Liu Y B, Dong G C, Santosh M, et al., 2025. Two phases of high potassic-shoshonitic magmatism and coeval Sn polymetallic mineralization in the Bozhushan orefield, Southwestern China[J]. Geoscience Frontiers, 16(6): 102157.

Liu Y B, Zhang L F, Mo X X, et al., 2020. The giant tin polymetallic mineralization in Southwest China: integrated geochemical and isotopic constraints and implications for Cretaceous tectonomagmatic event[J]. Geoscience Frontiers, 11(5): 1593—1608.

Liu Y B, Zhang L F, Santosh M, et al., 2023. Multi-stage metallogeny in the southwestern part of South China, and paleotectonic and climatic implications: a high precision geochronologic study[J]. Geoscience Frontiers, 14(3): 101536.

Lu B D, Li W C, Liu X L, et al., 2024. U-Pb dating of monazite in the Bainiuchang silver polymetallic deposit, Yunnan Province, and its limitation on Mesozoic mineralization[J]. China Geology, 7(3): 592—595.

Maluski H, Lepvrier C, Jolivet L, et al., 2001. Ar-Ar and fission-track ages in the Song Chay Massif: early Triassic and Cenozoic tectonics in northern Vietnam[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 19(1/2): 233—248.

Mao J W, Ouyang H G, Song S W, et al., 2019. Geology and metallogeny of tungsten and tin deposits in China[M]//Chang Z S, Goldfarb R J. Mineral deposits of China. Litteton: Society of Economic Geologists, Special Publication: 411—482.

Ni P, Pan J Y, Han L, et al., 2023. Tungsten and tin deposits in South China: temporal and spatial distribution, metallogenic models and prospecting directions[J]. Ore Geology Reviews, 157: 105453.

Ren T, Zhang Q, Wang C Y, et al., 2024. Fluid inclusions and H-O isotopes of the super-large Nanyangtian tungsten deposit in southeastern Yunnan, southwestern China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 267: 107593.

Romer R L, Hahne K, 2010. Life of the Rheic Ocean: scrolling through the shale record[J]. Gondwana Research, 17(2/3): 236—253.

Romer R L, Kroner U, 2016. Phanerozoic tin and tungsten mineralization—tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting[J]. Gondwana Research, 31: 60—95.

Romer R L, Kroner U, 2022. Provenance control on the distribution of endogenic Sn-W, Au, and U mineralization within the Gondwana-Laurussia plate boundary zone[M]//Kuiper Y D, Murphy J B, Nance R D, et al. New developments in the Appalachian-Caledonian-Variscan orogen. Boulder: Geological Society of America: 25—46.

Sun B, Liu Y, Kong Z G, et al., 2025. Multiple-stage W mineralization in the Guanfang W deposit, southeastern Yunnan Province, China: insights from scheelite *in-situ* trace elemental and Sr isotopic analyses[J]. Acta Geochimica, 44(1): 112—127.

Sun X, Xu H C, Yang Z M, et al., 2026. Crustal recycling and metamorphic dehydration govern the fertility of granite-associated tin systems[J]. Communications Earth & Environment, 7(1): 381.

Tang Z C, Zhao X Y, Deng M G, et al., 2026. Scheelite geochemistry constrains the origin of W mineralization in the Laojunshan district, southeast Yunnnan, China: comparative studies from the Nanyangtian, Changtian and Saxi deposits[J]. Ore Geology Reviews, 190: 107179.

Wang C Y, Han R S, Huang J G, et al., 2019. The ^{40}Ar–^{39}Ar dating of biotite in ore veins and zircon U-Pb dating of porphyrtic granite dyke in the Nanyangtian tungsten deposit in SE Yunnan, China[J]. Ore Geology Reviews, 114: 103133.

Wang T, Liu X L, Zhang S T, et al., 2025. Petrographic and geochemical evidence from pyrite for the genesis of the Bainiuchang Ag-polymetallic deposit southeastern Yunnan[J]. Scientific Reports, 15(1): 39247.

Wolf M, Romer R L, Franz L, et al., 2018. Tin in granitic melts: the role of melting temperature and protolith composition[J]. Lithos, 310/311: 20—30.

Xie H J, Zhu C H, Zhang Q, et al., 2009. Sulfur isotopic composition of the Bainiuchang super-large Ag polymetallic deposit, Yunnan Province, China: implications for the source of sulfur in ore-forming fluids[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 28(3): 284—292.

Xu R, Romer R L, Glodny J, 2021. External fluids cause alteration and metal redistribution in the granite-hosted Tangziwa Sn-Cu deposit, Gejiu district, China[J]. Lithos, 382/383: 105937.

Xu Z B, Li W C, Yang F C, et al., 2025. Late Cretaceous Sn-W mineralization along the northeastern margin of the Laojunshan granite complex in the southeastern Yunnan Sn-W Belt, SW China[J]. Ore Geology Reviews, 186: 106928.

Yan D P, Zhou M F, Wang C Y, et al., 2006. Structural and geochronological constraints on the tectonic evolution of the Dulong−Song Chay tectonic dome in Yunnan Province, SW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 28(4/5/6): 332—353.

Yang F C, Romer R L, Jiang X J, et al., 2025. Recurrent granite-related mineralization along former Tethys sutures in South-Western China[J]. Ore Geology Reviews, 180: 106584.

Yang F C, Romer R L, Li W C, et al., 2026. Former long-lived passive margins—cradles for major Sn, W, and Au provinces[J]. Ore Geology Reviews, 193: 107316.

Yang G S, Wen H J, Ren T, et al., 2020. Geochronology, geochemistry and Hf isotopic composition of Late Cretaceous Laojunshan granites in the western Cathaysia block of South China and their metallogenic and tectonic implications[J]. Ore Geology Reviews, 117: 103297.

Yuan S D, Williams-Jones A E, Romer R L, et al., 2019. Protolith-related thermal controls on the decoupling of Sn and W in Sn-W metallogenic provinces: insights from the Nanling region, China[J]. Economic Geology, 114(5): 1005—1012.

Zhang J W, Dai C G, Huang Z L, et al., 2015. Age and petrogenesis of Anisian magnesian alkali basalts and their genetic association with the Kafang stratiform Cu deposit in the Gejiu supergiant tin-polymetallic district, SW China[J]. Ore Geology Reviews, 69: 403—416.

Zhang Y H, Zhang S T, Tan S C, et al., 2016. The genetic relationship between the Large Guanfang W deposit and granitic intrusions, in Yunnan Province, southwest China: evidence from U-Pb and Re-Os geochronology and Pb and Sr isotopic characteristics[J]. Ore Geology Reviews, 79: 332—345.

Zhang Y H, Zhou J X, Tan S C, et al., 2020. Genesis of the oxidized Sn ores in the Gejiu district, Yunnan Province, SW China[J]. Ore Geology Reviews, 121: 103474.

Zhang Y H, Zhou J X, Tan S C, et al., 2022. New insights into the petrogenesis of the Bozhushan W-Sn mineralization-associated granites, Yunnan Province, SW China: evidence of microgranitoid enclaves[J]. Ore Geology Reviews, 145: 104906.

Zhang Z, Yang J H, Hu R Z, et al., 2024. Constraints of in-Situ elemental compositions and U-Pb ages of cassiterite on the origin of the Cretaceous Gejiu and Dulong tin deposits, SW China: implications for the linkage of tin belts in SE Asia[J]. Lithos, 488/489: 107832.

Zhao P L, Chu X, Williams-Jones A E, et al., 2022. The role of phyllosilicate partial melting in segregating tungsten and tin deposits in W-Sn metallogenic provinces[J]. Geology, 50(1): 121—125.

Zhao X Y, Deng M G, Li W C, et al., 2024. In situ U-Pb dating of garnet, vesuvianite, and scheelite from the Nanyangtian tungsten deposit reveals an Early Cretaceous W mineralization event in southeast Yunnan, China[J]. Gondwana Research, 133: 72—90.

Zhu J, Tan S C, Yang J Y, et al., 2024. What controls Sn-W mineralization in granite batholith: a case study from the world-class Dulong Sn-Zn polymetallic ore deposit of SW China[J]. Ore Geology Reviews, 166: 105968.