第 42 卷 第 1 期	沉 积 与 特 提 斯 地 质		Vol. 42 No. 1
2022 年 3 月		Sedimentary Geology and Tethyan Geology	Mar. 2022

DOI:10.19826/j. cnki. 1009-3850. 2022. 01004

刘俊,李文昌,周清,王保弟,巴桑多吉,杨富成,杨后斌,2022.藏东类乌齐-左贡成矿带构造演化与成矿作用[J]. 沉积与特提斯地质,42(1):88-104.

Liu J, Li W C, Zhou Q, Wang B D, Basang D J, Yang F C, Yang H B, 2022. Tectonic evolution and mineralization of the Leiwuqi-Zogang metallogenic belt[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(1):88 – 104.

藏东类乌齐 - 左贡成矿带构造演化与成矿作用

刘 俊¹,李文昌^{1,2*},周 清¹,王保弟³,巴桑多吉⁴,杨富成²,杨后斌⁵ (1.中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081;2.中国地质大学(北京)地球科学与资 源学院,北京 100083;3.中国自然资源航空物探遥感中心,北京 100083;4.西藏自治区地质矿产勘 查开发局第六地质大队,西藏 拉萨 850000;5.云南省地质矿产勘查院,云南 昆明 650051)

摘要:藏东类乌齐-左贡成矿带(简称类-左带)是三江特提斯成矿域内一条重要的成矿带,其整体的研究较为薄弱、零散。 本文基于最新的研究成果,按照成矿时代、地质背景、成矿作用及成矿元素组合将带内矿床划分为了6个成矿系列,包括:(1) 印支期晶质石墨矿系列;(2)印支期蛇绿岩相关风化淋滤型菱镁矿系列;(3)印支期沉积-改造型 Fe-Cu 多金属系列;(4)燕 山期与中酸性岩浆岩相关的 W-Sn-Mo-Cu 多金属系列;(5)燕山期热液脉型 Pb-Zn 多金属系列;(6)喜山期 MVT 型 Pb-Zn 多金属系列。针对每一个成矿系列,作者选取了典型矿床对其成矿地质特征进行了简要论述,并对其成因机制进行了重点剖 析。此外,作者深入探讨了类-左带内区域构造演化与成矿作用之间的关系,指出各类矿床在带内大量发育是古、中、新特提 斯构造长期演化的结果。本项研究有助于深入认识类-左带内的成矿作用与成矿规律,并对区内未来的找矿勘查工作具有 重要的参考价值。

关 键 词:成矿系列;构造演化与成矿;类乌齐-左贡成矿带;藏东三江地区 中图分类号:P548; P617 文献标识码:A

Tectonic evolution and mineralization of the Leiwuqi-Zogang metallogenic belt

LIU Jun¹, LI Wenchang^{1, 2*}, ZHOU Qing¹, WANG Baodi³, BASANG Duoji⁴, YANG Fucheng², YANG Houbin⁵

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China; 2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China; 4. No. 6 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa 851400, China; 5. Yunnan Institute of Geology and Mineral Exploration, Kunming 650051, China)

Abstract: The Leiwuqi-Zogang metallogenic belt (LZMB) in eastern Tibet is an important metallogenic belt in the Sanjiang Tethys metallogenic domain, but the related researches are poor and scattered. Based on the latest research results, the deposits in the belt can be divided into six metallogenic series mainly according to metallogenic

收稿日期: 2021-11-12; 改回日期: 2021-12-09

作者简介:刘俊(1990—),男,博士,工程师,从事青藏高原及邻区地质矿产研究。E-mail:cdzxlj2017@163.com

通讯作者:李文昌(1962—),男,教授,博士生导师,从事找矿勘查与地质矿产研究。E-mail:Lwcyndd@163.com

资助项目:国家自然科学基金重大研究计划(92055314);云南省科学技术奖 - 杰出贡献奖项目(2017001);四川省"天府 万人计划"杰出科学家项目(川万人第023号);四川省科技计划项目应用基础研究面上项目(2018JY0175)

age, geological background, metallogenesis, and metallogenic element association, including: (1) Indosinian crystalline graphite deposits; (2) Weathering leaching magnesite deposits related to Indosinian ophiolites; (3) Indosinian sedimentary-reformed type Fe-Cu polymetallic deposits; (4) Yanshanian W-Sn-Mo-Cu polymetallic deposits related to intermediate-acid magnatic rocks; (5) Yanshanian hydrothermal vein-type Pb-Zn polymetallic deposits; (6) Himalayan MVT-type Pb-Zn polymetallic deposits. For each metallogenic series, the metallogenic geology and genetic mechanism of a selected typical deposit have been introduced and analyzed. In addition, this paper thoroughly probes into the relationship between regional tectonic evolution and mineralization in the LZMB, and points out that the massive development of various deposits in this belt is the result of long-term evolution of Paleo-, Meso-, and Neo-Tethys. This study is helpful for us to deeply understand the metallogenesis and metallogenic regularity in the LZMB, and offers important referential value for future prospecting and exploration in this belt.

Key words: metallogenic series; tectonic evolution and mineralization; Leiwuqi-Zuogong metallogenic belt; Sanjiang area of eastern Tibet

0 引言

三江特提斯造山带是东特提斯构造域的重要 组成部分(Hou et al., 2007;Metcalfe, 2013),完整地 记录了原—古—中—新特提斯复杂的构造 – 岩浆 演化史(如 Hou et al., 2003;Pullen et al., 2008; Deng et al., 2014a, 2014b;Wang et al., 2016;Li et al., 2018;He et al., 2019;Liu et al., 2020;朱弟成 等,2021),并以大量发育 Cu-Mo-Au(Hou et al., 2003;Li et al., 2017;Cao et al., 2019)、Sn-W(Cao et al., 2017;刘俊等,2019;Liu et al., 2020b, 2020c)和 Pb-Zn-Ag(Liu et al., 2016;Yalikun et al., 2018;毕献 武等,2019;Xu et al., 2019)等系列矿床而著称。

藏东类乌齐 - 左贡成矿带(简称类 - 左带)是 三江特提斯成矿域内一条重要的有色金属成矿带 (图1A;潘桂棠等,2003;李文昌等,2014)。受自然 环境恶劣及交通不便的限制,类-左带内总体勘查 与研究程度较低。以往带内发现的矿床以铅锌银 多金属矿床为主(如拉若玛、赵发涌、南越拉、拉拢 拉),并吸引了矿床学家们的高度关注(Hou et al., 2007;宋玉财等,2011,2017;陶琰等,2011;刘英超 等,2013;Liu et al., 2016;Sheng et al., 2019)。其它 矿床/矿化类型如铁、铜、菱镁矿、煤、石膏、金等规 模较小,勘查及研究程度均相对较低(巴桑多吉等, 2018^①)。近年来,随着找矿评价和勘查工作的深 入,拉荣钨(钼)矿床(罗梅等,2014;刘俊等,2019)、 冬仆鲁铜钨(锡)矿床(普布扎西等,2017²)、妞多 石墨矿床(周新等,2019)、青果石墨矿床(何亮等, 2020b)、地果石墨矿床(何亮等,2020a)等多个 W-Sn-Mo-Cu 和晶质石墨矿床相继被发现。这些找矿 新进展不仅改变了类 - 左带内矿床类型的格局,同时也拓宽了区域找矿的新思路。

鉴于类 - 左带内矿床类型众多、成矿作用复杂,而相关的研究较为薄弱、零散。本文基于团队 近年来对类 - 左带的深入研究,并系统搜集了其他 相关资料,对带内主要矿床类型及其特征、区域构 造演化与成矿作用进行系统梳理与总结,以期为未 来区内的研究与找矿勘查工作提供参考。

1 成矿地质背景

1.1 区域地层

区内发育地层众多,其中前震旦系片岩、片麻 岩等呈北西向条带状分布于成矿带的核部,边部发 育石炭纪—第四纪地层(图1B)。石炭纪—二叠纪 地层主要分布于察雅 - 左贡一带,岩性为砂岩、千 枚岩、片岩、板岩、灰岩、火山岩等。三叠纪地层出 露面积最广,岩性为砂岩、砾岩、灰岩、泥岩、英安 岩、凝灰岩等,为该带重要的赋矿地层。侏罗纪— 白垩纪地层主要分布于类乌齐一带,岩性为泥/页 岩、砂岩、砾岩等。另有少量第四系沿沟谷及山间 洼地分布。

1.2 区域构造

成矿带内深大断裂、褶皱构造十分发育,总体构造形迹为北西—南东向(图1B)。怒江断裂带为成矿带的左界断裂带,由多条断裂及其所夹持的岩片、岩块及构造岩组成,走向310°~340°,沿断裂发育了一系列超镁铁岩透镜体。澜沧江断裂带为成矿带的右界断裂带,沿玛弄—类乌齐—吉塘—卡贡—崩都一带呈北西—南东向展布,波状弯曲延伸,展布方向320°~340°,断裂两盘的沉积建造、火



图 1 三江特提斯成矿域及邻区构造纲要图(A;据 Metcalfe, 2013)和类乌齐 - 左贡成矿带地质矿产图(B;据陈建平等, 2013³;罗梅等,2014 修改)

Fig. 1 Geological map showing the tectonic framework of the Sanjiang Tethyan metallogenic domain and its adjacent areas (A; modified from Metcalfe, 2013) and geological map of the Leiwuqi-Zogang area in eastern Tibet (B; modified from Chen et al., $2003^{(3)}$; Luo et al., 2014)

山活动、变质变形等存在明显差异。区域内分布有 沙龙牛场向斜、用母向斜、当多拉向斜、让关歇机背 斜、热都-松普背斜、然度海背斜等多个褶皱(李小 亮,2011)。

1.3 区域岩浆岩

区内中酸性侵入岩广泛发育,主要分布于研究 区中部,其展布和构造线方向基本一致(图1B)。 其中,晚三叠世(219~235 Ma)岩浆岩出露面积最 广,岩性以花岗闪长岩和二长花岗岩为主,主要包 括东达山岩基(Peng et al., 2015)、吉塘岩体(Tao et al., 2014)、卡贡岩体(Wang et al., 2018)等。少量 二叠世(253~255 Ma;巴桑多吉等,2018^①)、中三叠 世^①(239~245 Ma;巴桑多吉等,2018^①;何亮等, 2020a,2020b)、晚白垩世(77.5~99.2 Ma;刘俊等, 2019)、始新世(35~36 Ma;邱军强等,2012;Liu et al., 2020a)花岗岩类多呈小岩株/岩脉零散分布,有 时隐伏于早期花岗岩体之下(刘俊等,2019)。另 外,少量蛇绿混杂岩沿着结合带展布,主要由玄武 岩、辉长岩、橄榄辉长岩、砂岩、板岩、灰岩、大理岩 等组成^①。



图 2 类乌齐 - 左贡成矿带主要矿床类型及成矿演化 Fig. 2 Major deposit types and metallogenic evolution of the Leiwuqi-Zogang metallogenic belt

2 成矿系列与典型矿床特征

成矿系列是指在特定的时间、空间内,由特定 的地质成矿作用形成有成因联系的矿床组合(陈毓 川等,2006)。对其研究有助于提高我们对成矿规 律的认识,并更有效指导成矿预测、促进矿产勘查 (韩春明等,2018)。类 - 左带内地质构造十分复 杂,岩浆活动频繁,各类型矿床大量发育。本文主 要依据矿床的成矿时代、地质背景、成矿作用及成 矿元素组合(陈毓川,1994),将区内矿床划分为了6 个成矿系列(图2)。

2.1 印支期晶质石墨矿系列

类 - 左带内晶质石墨矿床主要分布于左贡 县—察雅县一带,是近5年内带内新发现的一个重 要的成矿系列,展现了藏东三江地区良好的石墨资 源找矿潜力。该系列矿床主要包括青果、地果、纽 多等(图 1B、表 1;周新等,2019;何亮等,2020a, 2020b),均产于印支期岩体与下石炭统卡贡组碳质 板岩的接触部位。

该成矿系列典型矿床为青果石墨矿床。青果石墨矿床为一大型岩浆混染型晶质石墨矿床,目前矿区内共圈定了7个矿体,固定碳资源量106.94万吨,平均品位8.40%。矿区围岩地层为下石炭统卡贡组,岩性主要为砂岩、板岩等。矿区内岩浆岩十

分发育,大面积出露晚二叠世(255.4 ± 1.3 Ma;何 亮等,2020b)花岗闪长岩。中三叠世(244.7 ± 1.3 Ma;何亮等,2020b)二长花岗岩呈脉状侵位于早期 岩体及围岩地层中(图 3A)。矿体呈透镜状、不规 则状赋存于二长花岗岩脉中(图 3)。矿石呈球状、 角砾状、豆状、浸染状产出(图 4),集合体直径在 0.5~10 cm之间。矿石矿物主要为晶质石墨,另含 有少量黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿等。围岩蚀变主 要为绢云母化、泥化、褐铁矿化、硅化、电气石化等。 石墨 δ^{13} C 值为-15.3‰,接近但略低于有机成因碳 δ^{13} C 值(-26‰ ± 7‰;李凯月等,2018),可能指示 青果石墨矿碳质主要来源于卡贡组地层,并混入了 少量其他来源的碳组分。

青果石墨矿床成矿模式可概括如下(图4):随 着古特提斯洋的俯冲,晚二叠世一中三叠世花岗质 岩浆沿着澜沧江断裂相继就位。晚期二长花岗岩 侵位过程中捕获了大量的卡贡组含碳地层,在热动 力和重力作用下炭质捕获体不断地发生塑性滚动、 重结晶。由于石墨的比重较低,在塑性滚动时,容 易与其他脉石矿物发生分离并上浮,因此石墨矿化 多富集于岩体顶部(白建科等,2018;何亮等, 2020b)。

地果、妞多石墨矿床与青果石墨矿床的特征十分相似(樊炳良等,2018;何亮等,2020a),但需要指



图 3 青果石墨矿床地质图(A)及Ⅱ-1号矿体剖面地质图(B)(据何亮等,2020b)

Fig. 3 Geological map(A) and cross-section map for the No. II -1 ore-body of the Qingguo graphite deposit(B) (modified from He et al., 2020b)

出的是, 知多石墨矿床被认为与中一晚二叠世岩浆 作用密切相关(258.1~262 Ma; 王新雨, 2018; 周新 等, 2020), 与中三叠岩浆(243.6 ± 1.4 Ma; 樊炳良 等, 2018) 关系不大。青果、地果矿区亦出露有规模 较大的晚二叠世花岗闪长岩, 其中却鲜有矿化。何 亮等(2020b) 初步提出青果、地果矿区晚二叠世岩 体侵位时可能并未捕掳到地层中的碳质组分, 或者 其侵位时不能提供碳质组分重新改造形成晶质石 墨所需的温压条件, 上述差异背后的原因亟待进一 步深入研究。

2.2 印支期蛇绿岩相关风化淋滤型菱镁矿系列

菱镁矿矿床是类 - 左带内一类重要的非金属 矿床,以巴夏大型风化淋滤型菱镁矿矿床为代表。 该矿床发现于上世纪70年代,位于类乌齐县卡玛多 乡境内,是西藏储量最大的菱镁矿矿床(丁建华等, 2013)。矿床的分布受深大断裂控制,矿体赋存于 次级断裂或超基性岩(辉石岩、橄榄岩、蛇纹岩)中。 矿石主要呈块状、带状、团块状产出。主要矿物为 菱镁矿、方解石、白云石、玉髓、蛇纹石。围岩蚀变 主要有碳酸盐化、硅化和大理岩化,其中硅化与菱 镁矿化的关系较为密切。前人对区域上卡贡蛇绿 (混杂)岩进行了年代学研究,得到其形成时代为 中一晚三叠世(240~220 Ma;巴桑多吉等,2018^①)。 鉴于此,我们初步认为巴夏菱镁矿床属于与印支期 蛇绿岩相关的风化淋滤型矿床。然而,其成矿时代 的精确厘定尚需要寻找合适的定年矿物。

巴夏菱镁矿矿床成矿模式可概述如下(图5): 受后期构造事件(如碰撞造山作用)的影响,巴夏蛇





Fig. 4 Sketch showing the metallogenesis of the Qingguo graphite deposit



图 5 巴夏菱镁矿矿床成矿模式图(据薛建平等,2017 修改) Fig. 5 Sketch showing the metallogenesis of the Baxia magnesite deposit (modified from Xue et al., 2017)

绿岩带超基性岩中产生了大量次级断裂。之后大 气降水 + 区域变质水 + 层间水顺着构造向下运移, 并与超基性岩发生了强烈的水岩反应。不断地风 化淋滤导致矿床上部形成硅质风化壳淋滤残余层, 中部形成硅质风化壳 + 蛇纹岩 + 菱镁矿过渡层,下 部形成菱镁矿 - 超基性岩淋滤物层(丁建华等, 2013)。

2.3 印支期沉积 - 改造型 Fe-Cu 多金属系列

类 - 左带内 Fe-Cu 多金属矿床主要发育于察雅 县境内。该系列矿床主要包括卡贡赤铁矿床和吉 塘赤铁矿床(图1B;表1;谢尧武等,2007^④)。上述 两矿床均产于早石炭世卡贡组地层中,部分矿体的 产状与围岩一致,部分矿体呈脉状贯入围岩中,故 被认为属于沉积-改造型赤铁矿床(谢尧武等, 2007^④)。矿区范围内大面积分布晚三叠世岩浆岩, 可为热液叠加改造作用提供充分的热源及部分成 矿物质、流体,被认为与 Fe-Cu 矿化的富集密切相关 (普布扎西等,2017²)。然而,由于缺乏直接的成矿 年代学支撑,一定程度限制了我们对其矿床形成过 程的理解。近年来随着分析测试技术的进步,赤铁 矿 U-Pb 定年技术被成功运用于相关矿床年代学领 域(如 Zhou et al., 2017; Courtney-Davies et al., 2019)。赤铁矿作为卡贡和吉塘矿床的主要矿石矿 物,对其开展直接的 U-Pb 定年工作,有望准确厘定 上述两矿床的成矿时代。

该成矿系列典型矿床为卡贡赤铁矿床,位于察 雅县卡贡乡境内。矿区主要出露早石炭世卡贡岩 组地层,岩性主要包括千枚岩、板岩、变质砂岩、灰 岩、大理岩、火山岩等。矿区内为一单斜构造,发育 北西走向的逆断层,次为北东走向规模不大的平移 断层。矿区岩浆岩主要发育晚三叠世吉塘花岗闪 长岩体及少量晚三叠世基性岩脉和细晶岩脉(图6: 谢尧武等,2007^④)。该矿床为一中型赤铁矿矿床, 目前已杳明铁矿石资源量约1257万吨,TFe品位变 化于 39.73%~61.48%。此外,该矿床还伴生有一 定的 Mn、Ag 矿化。矿体多呈脉状、透镜状、囊状、串 珠状赋存于早石炭世卡贡组千枚岩、板岩、结晶灰 岩中。矿床由30多个规模不等的矿体组成,规模较 大的矿体共有12个,均呈北西---南东向展布(图 6)。矿石类型大体分为两类:一为致密块状、粒块 状、角砾状、土状含锰褐铁矿矿石;二为结晶粒状、 团块状含锰赤(褐)铁矿化菱铁矿矿石。矿区围岩 蚀变主要包括绢云母化、硅化、高岭土化(谢尧武等,



图 6 卡贡赤铁矿床地质图(修改自谢尧武等,2007^④) Fig. 6 Geological map of the Kagong hematite deposit (modified from Xie et al., 2007^④)

2007⁽⁴⁾)_°

该矿床的成矿模式可概述如下:泥盆世一中三 叠世时期卡贡地区整体处于滨海-浅海环境,在石 炭纪早期沉积了海陆交互相卡贡岩组地层,并形成 了 Fe、Mn、Ag等金属元素的初始富集。之后晚三叠 世岩浆岩(以吉塘岩体为代表;Tao et al., 2014)的 侵位则被认为至少提供了热源,促进了变质改造作 用及热液流体的运移,从而形成了卡贡赤铁矿矿床 (普布扎西等,2017²)。

2.4 燕山期与中酸性岩浆岩相关的 W-Sn-Mo-Cu 多金属系列

类 - 左带内燕山期 W-Sn-Mo-Cu 多金属矿化是 近年来带内新识别出的一期重要的成矿事件,该系 列矿床主要包括拉荣大型斑岩钨钼矿床(刘俊等, 2019)、冬仆鲁中型岩浆热液型(石英脉型/云英岩 型)铜钨(锡)矿床(普布扎西等,2017²)和塞北弄 小型石英脉型锡矿床(申屠保勇和王增,1991)。该 期 W-Sn-Mo-Cu 多金属成矿作用与晚白垩世碰撞造 山背景下的中酸性岩浆活动密切相关,且在矿床成 因类型方面展现出了多样性(刘俊等,2019)。另 外,成矿元素从北西段(Sn)→中段(Cu-W-Sn)→南



图 7 拉菜钨钼矿床地质图(A),ZK0803 带 WO₃和 Mo 品位钻孔柱状图(B)和 a-b 剖面地质图(C)(据 Liu et al., 2020c) Fig. 7 Geological map of the Larong W-Mo deposit(A), columnar diagram of drill-hole ZK0803 with the grade (%) of WO₃ and Mo (B), and cross-section map for a-b(C) (after Liu et al., 2020c)

东段(W-Mo)呈现出有规律地变化(图1A),但背后的原因尚未查明。

该成矿系列典型矿床为位于类 - 左带东南段 左贡县境内的拉荣钨钼矿床。矿区主要出露下石 炭统卡贡岩组地层,其下段主要岩性为石英片岩、 绿片岩、变质石英砂岩夹石英岩,上段主要岩性为 砂板岩、千枚岩和少量灰岩。矿区构造以断裂为 主,主要包括早期北西向和晚期近东西向两组(图 7A)。矿区内岩浆岩十分发育,主要包括英安斑岩 (214.0 ± 0.7 Ma)、花岗闪长斑岩(213.8 ± 1.3 Ma)、黑云母花岗斑岩(104.4 ± 0.9 Ma)、二长花岗 斑岩(93.9 ± 1.3 Ma)、黑云母花岗岩(91.7 ± 0.5 Ma)、细晶岩脉(36.2 ± 0.6 Ma)等(图7;Liu et al., 2020a)。目前,拉荣矿床中共圈定5个钨矿体,估算 资源量 WO₃为140600 吨、Mo 为33700 吨,平均品位 分别为0.11%和0.03%(董字等,2019^⑤)。矿体主 要呈透镜状、条带状产于花岗闪长斑岩、石英片岩、 黑云母花岗斑岩、二长花岗斑岩、绿片岩中(图7C; 图8)。矿石主要以细 – 网脉状、细脉浸染状和浸染 状形式产出(图8)。矿石矿物主要为白钨矿、辉钼 矿、黄铁矿、黄铜矿、斜方辉铋铅矿、毒砂、锡石、硫 砷铜矿等;脉石矿物主要为石英、碱性长石、绢云 母、白云母、方解石、萤石等。围岩蚀变主要为角岩 化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、白云母化、钾化,其 次为绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化,偶见叶蜡石 化、萤石化等(刘俊,2020)。

拉荣矿床成矿期次可划分为热液期与表生期, 热液期又可划分为硅酸盐 - 氧化物阶段、石英 - 硫 化物阶段和无矿石英脉阶段。辉钼矿 Re-Os 定年指 示矿床的形成时代为 91.8 ± 0.5 Ma(刘俊等, 2019),其与黑云母花岗岩和二长花岗斑岩的形成 时代均十分接近(Liu et al., 2020a)。但黑云母花岗

岩普遍较为新鲜,而二长花岗斑岩矿化蚀变较为强 烈(图8G:二长花岗斑岩中发育浸染状矿化:石英斑 晶发生强烈的溶蚀),故初步认为成矿作用与二长 花岗斑岩密切相关(刘俊,2020)。晚三叠世中酸性 斑岩属于过铝质花岗岩类,具有较低的氧逸度与分 异度,起源于前寒武纪地壳基底的部分熔融;白垩 纪及始新世侵入岩属于准铝质 - 弱过铝质花岗岩 类,具有相对较高的氧逸度与分异度,其形成与壳 幔岩浆混合及岩浆结晶分异有关(Liu et al., 2020a)。 相对于晚三叠花岗岩类,白垩纪花岗岩类具有较高 的分异度、氧逸度,更有利于钨钼矿的形成(刘俊, 2020)。拉荣矿床成矿流体属于 NaCl-H, O-CO, 不混 溶体系,主成矿阶段流体具有 CO,富集、中高温和中 低盐度的特征(Liu et al., 2020b),符合大陆碰撞型 斑岩钨矿床的流体特性(刘俊等,2021)。拉荣矿床 硫化物 δ³⁴S_{vcDT} 值变化于 0.25‰~6.37‰, 具有明 显岩浆硫源的特征。硫化物微量元素及 Pb 同位素 指示成矿金属主要来自于壳源岩浆作用(Liu et al.,



A-B. 二长花岗斑岩中发育稀疏浸染状白钨矿,图 B 为图 A 荧光照片; C. 石英脉中发育粗粒白钨矿(荧光下); D. 二长花岗斑岩中发育浸染状白钨矿; E. 花岗闪长斑岩中发育脉状白钨矿; F. 二长花岗斑岩中发育网脉状矿化; G. 二长花岗斑岩中发育细脉浸染状矿化; H. 石英片岩中发育脉状矿化; I. 绿片岩中发育脉状矿化。缩写:Mo一辉钼矿;Py—黄铁矿;Sch—白钨矿

图 8 拉荣矿床典型矿化照片 Fig. 8 Photographs of typical mineralization characteristics of the Larong deposit 2020c)。围岩蚀变与矿化的关系、白钨矿 Sr 同位素 组成及斜长石主量元素特征共同指示了成矿所需 的 Ca²⁺主要由赋矿围岩发生水岩反应(斜长石蚀变 分解)而来(刘俊,2020)。

结合上述研究进展,我们建立了拉荣矿床的成 矿模式(图9):在拉萨-羌塘地块碰撞造山阶段,中 特提斯洋板片在94 Ma 发生断离, 地幔岩浆上涌诱 发了富含成矿金属的藏东古老地壳基底的重熔,重 熔的壳源岩浆与幔源岩浆发生了一定程度的混合 形成了母岩浆,之后母岩浆沿构造上侵至早期形成 的岩体及围岩片岩中。由于母岩浆在上侵的过程 中发生了充分的结晶分异,此时的岩浆富含大量的 成矿元素和挥发分。随着二长花岗斑岩体的浅部 就位,热液流体出溶并与岩体及围岩发生了强烈的 水岩反应,斜长石分解蚀变释放了丰富的 Ca2+ 进入 成矿流体。强烈的水岩反应及 CO,的逸失使得流体 的温度和氧逸度不断降低、pH 值与 S^{2-} 逸度不断提 高,从而造成了白钨矿、辉钼矿的相继沉淀(刘俊, 2020)。需要特别指出的是,区域上广泛出露的印 支期岩体深部可能赋存有燕山期岩体,应该加强对 产于复式岩体中的拉荣式钨多金属矿床的找寻(刘 俊等,2019)。



图 9 拉荣钨钼矿床成矿模式图(据刘俊,2020) Fig. 9 Schematic model showing the metallogenesis of the Larong W-Mo deposit

该成矿系列另一典型矿床为位于类 - 左带中 段察雅县境内的冬仆鲁铜钨(锡)矿床。矿区围岩 主要为上三叠统阿堵拉组粉砂岩、石英岩,局部夹 板岩、角岩。矿体严格受近南北向的断裂构造控 制,铜钨(锡)矿体呈透镜状产于蚀变二长花岗岩岩 株的顶部节理裂隙面及其附近围岩中,岩体外围发

育铅锌矿化。该矿床初步估算 WO₃资源量为 2.53 万吨、Cu资源量为17.51万吨,平均品位分别为 0.26%和0.76%(普布扎西等,2017)²。矿石矿物 主要包括黑钨矿、黝铜矿、黄铜矿、锡石、方铅矿、闪 锌矿等。脉石矿物主要为石英、电气石、刚玉等。 矿区围岩蚀变主要为云英岩化、硅化、电气石化、高 岭土化等。根据赋矿岩体的锆石 U-Pb 定年结果 (77.5Ma;内部交流),可以基本判断冬仆鲁矿床形 成于晚白垩世。该矿床的成矿模式可概括如下:在 燕山晚期碰撞后陆内伸展构造背景下,幔源岩浆上 涌诱发地壳部分熔融并与之发生混合。岩浆沿着 断裂带向上迁移到浅部就位,之后流体发生出溶, 高温含矿气液在岩体顶部节理、裂隙面附近强烈交 代岩体,导致钨锡铜矿化的发育。剩余流体继续向 外迁移,在岩体外接触带或围岩地层中形成与同期 岩浆活动有关的中低温铜铅锌矿化²(图10)。



图 10 冬仆鲁铜钨(锡) 矿床成矿模式图(修改自普布扎西 等,2017²)

Fig. 10 Sketch showing the metallogenesis of the Dongpulu Cu-W-(Sn) deposit (modified from Pub Tashi et al., $2017^{(2)}$)

2.5 燕山期热液脉型 Pb-Zn 多金属系列

燕山期热液脉型 Pb-Zn 多金属矿床主要位于类 - 左带的中段及东南段,主要包括索打(李小亮, 2011)、谢坝(张民,2014)、滨达(梗旦次仁等, 2018[®])、因多者(李小亮,2011)等。这些矿床被认 为与燕山期花岗质侵入体具有密切联系,但其成矿 时代尚缺乏精确的年代学制约。前人对三江带沉 积岩容矿型 Pb-Zn 多金属矿床成矿年龄的研究可为 此提供参考(详见毕献武等,2019)。



图 11 索打铅锌矿床地质图(据李小亮,2011) Fig. 11 Geological map of the Suoda Pb-Zn deposit

该成矿系列典型矿床为位于芒康县境内的索 打热液脉型 Pb-Zn 多金属矿床。矿区内主要出露下 石炭统马查拉组、上二叠统夏牙村组。矿区内构造 以断裂为主,主要发育近南北向的 F,断裂、近东西 向F₂断裂及其他小断裂。矿区内岩浆岩主要发育 燕山期索打花岗斑岩体(图11)。铅锌矿体受构造 控制明显,主要呈透镜状、不规则状产于断层与层 间破碎带中,赋矿围岩为下石炭统马查拉组灰岩和 石英砂岩。另外,矿区深部索打岩体外接触带发育 一层砂卡岩型铜矿体(图12)。目前估算资源量Zn 为39.39万吨、Pb为0.95万吨、Cu为0.46万吨、 Ag为141.5吨,平均品位分别为14.81%、0.37%、 0.56%和55.52克/吨(李小亮,2011)。矿石主要 呈土状、蜂窝状、(细脉)浸染状产出。矿石矿物主 要为闪锌矿、方铅矿、锡石、黄锡矿、黄铜矿、磁黄铁 矿、黄铁矿等。脉石矿物主要为石英、方解石、白云 石、萤石等。围岩蚀变以硅化、大理岩化、砂卡岩 化、角岩化、碳酸盐化为主。其成矿模式可简述如 下(图12):燕山晚期随着索打花岗斑岩体的侵位, 富含 Pb、Zn、Cu、Ag 等成矿元素及挥发分的热液从 岩体中出溶,在岩体外接触带形成砂卡岩型铜矿 体,之后含矿热液继续沿着构造运移,在围岩层间 破碎带和断层面附近发生充填交代作用,形成主要 的铅锌矿体(李小亮,2011)。

2.6 喜山期 MVT 型 Pb-Zn 多金属系列

类 - 左带内喜山期 Pb-Zn 多金属成矿事件为该带最为重要的一期成矿事件,形成了赵发涌(41.1 ±





1.1 Ma; Liu et al., 2016)、南越拉(何亮等, 2017)、 拉拢拉(38.1 ± 0.8 Ma;刘英超等, 2014; Liu et al., 2016)、干中雄(李小亮, 2011)、拉若玛(29.9 Ma;陶 琰等, 2011;毕献武等, 2019; Xu et al., 2017; Sheng et al., 2019)等一批大一中型 MVT 型 Pb-Zn 多金属矿 床。矿体的产出明显受岩性分界面和顺层逆冲断 层控制(刘英超等, 2014),同期的岩浆活动可能为 成矿提供了热驱动力及部分的成矿物质(毕献武 等, 2019)。

代表性拉拢拉铅锌矿床位于类乌齐县桑多镇 境内,为一大型 MVT 型铅锌矿床。矿区内主要出露 上三叠统甲丕拉组(砾岩、砂岩、泥页岩、粉砂岩、泥 灰岩等)和波里拉组(微晶灰岩、生物碎屑灰岩)。 矿区内构造主要发育 NW - SE 向的断裂和一大型 倒转向斜。矿区南侧发育一黑云母花岗斑岩体,年 代学证据表明其形成于铅锌矿化之后(刘英超等, 2014)。矿体呈透镜状赋存于上三叠统波里拉组灰 岩和甲丕拉组泥/页岩岩性界面附近。矿区内逆冲 断裂发育,矿体主要产于其上盘(图13)。矿石主要 呈块状、角砾状、脉状、环状、皮壳状、晶洞充填状产 出。矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、菱锌矿、菱铁 矿、黄铁矿、白铅矿等;脉石矿物主要为方解石、重 晶石、萤石、石英等。围岩蚀变主要发育方解石化 和萤石化。拉拢拉矿床成矿流体为 NaCl-H₂O-CO₂-CH4体系,包裹体显微测温及 C-H-O 同位素共同指 示矿区至少存在两种流体源:(1)中低温、高盐度的 盆地卤水和(2)区域变质水+建造水+大气降水混

合而成的区域流体。硫同位素分析表明还原硫主 要来自于硫酸盐的生物还原作用。铅同位素分析 指示成矿物质来自于变质基底及沉积盖层(刘英超 等,2014)。



图 13 拉拢拉铅锌矿床地质图(据李小亮,2011) Fig. 13 Geological map of the Lalongla Pb-Zn deposit



图 14 拉拢拉铅锌矿床成矿模式图(据 Liu et al., 2016) Fig. 14 Sketch showing the metallogenesis of the Lalongla Pb-Zn deposit

该矿床的成矿模式可简述如下(图 14):逆冲推 覆构造在碳酸盐岩地层中形成构造圈闭,盆地卤水 下渗汇聚并发生硫酸盐的生物还原作用形成富含 还原硫的流体。造山挤压过程释放出区域流体(区 域变质水+建造水+大气降水)并从变质基底及沉 积盖层中淋滤出大量金属,形成富含 Pb、Zn、卤素等 的含矿流体。造山间歇期,部分断层发生断后伸 展,上述区域流体沿开放空间向上运移,在灰岩与 泥/页岩分界面与还原性流体发生混合,导致硫化 物及碳酸盐的沉淀,形成透镜状矿体(Liu et al., 2016)。

3 区域构造演化与成矿作用

藏东三江地区位于青藏高原的东南缘,构造大转弯部位(图1A)。该区地质构造复杂、沉积作用 广泛、岩浆活动频繁。地层中Cu、Pb、Zn、Fe、W、Sn、 Au、Ag、Sb等金属及非金属元素(C、S)等十分富集。 随着古、中、新特提斯构造的演化,在有利的构造、 岩浆、地层条件下形成了各类金属与非金属矿产。

3.1 古特提斯阶段

北澜沧江洋于早二叠世开始消减(Pullen et al., 2008;李文昌等,2010; Deng et al., 2014a), 导致藏 东地区早—中三叠世—早二叠世弧岩浆岩的发育 (Yang et al., 2011)。其中, 妞多矿区细粒花岗岩在 晚二叠世发生侵位,岩体在上升过程中同化混染了 区内下石炭统卡贡组中的碳质层,从而导致在岩体 的内接触带形成了晶质石墨矿体(周新等,2019;图 15A)。随着消减作用的进行,北澜沧江结合带内还 发育了一套不连续的蛇绿岩组合(图15B)。根据卡 贡蛇绿(混杂)岩的形成时代(240~221 Ma;巴桑多 吉等,2018^①),初步判断该蛇绿岩套形成于中一晚 三叠世。巴夏蛇绿岩套主要由辉石岩、橄榄岩、蛇 纹岩组成,推测其与卡贡蛇绿(混杂)岩套的形成时 代基本一致。受后期构造事件(例如碰撞造山)的 影响,巴夏蛇绿岩带超基性岩中产生了大量次级断 裂,并不断地接受大气降水+区域变质水+层间水 的风化淋滤,最终在超基性岩体下部形成了菱镁矿 矿体(丁建华等,2013;图15C)。

俯冲作用一直持续到早三叠世(Pullen et al., 2008;Yang et al., 2011;Zhai et al., 2013)。羌塘盆 地中生代高压 - 超高压变质作用(230~237 Ma; Zhai et al., 2011)和晚三叠世磨拉石建造(王剑等, 2004)的识别,表明了大陆碰撞发生在237 Ma之前。 碰撞造山导致地壳加厚增温重熔,导致少量同碰撞 S型花岗岩的侵位(如青果、地果矿区的二长花岗岩 脉;何亮等,2020a, 2020b)。与妞多矿床类似,青 果、地果二长花岗岩脉在上升过程中同化混染了卡 贡组中的碳质层,从而在岩体内外接触带形成了晶 质石墨矿床。

随后,大洋板块在237~230 Ma 发生断离(Peng et al., 2015)导致羌塘中部高压 – 超高压岩石快速 折返及羌塘中部托和平错地区碱性辉绿岩(234 Ma)

表1 类乌齐 - 左贡成矿带成矿系列表

Table 1 Metallogenic series of the Leiwuqi-Zogang metallogenic belt

序号	矿床 名称	矿床类型	规模	储量及品位	矿体形态	主要矿石矿 物	赋矿岩石	围岩蚀变	成 <i>矿</i> 有 关 岩浆岩	成矿时代	参考文献
1	妞多 石墨 矿	岩浆混染 型	中型	固定碳大于 50 万 吨,平均品位 14.66%	透 镜 状、 细脉状	晶质石墨	细粒花岗岩	硅化、重晶石 化、电气石化 等	细粒花岗 岩	258.1 ± 1.9 Ma	周新等, 2019
2	地果 石墨 矿	岩浆混染 型 + 接触 变质型	大型	固定碳 133.25 万吨,平均品位 17.38%	透 镜 状、 细 脉 状、 不规则状	晶质石墨及 少量黄铁 矿、磁铁矿、 钛铁矿	二长花岗岩、下 石炭统卡贡组 碳质板岩	绢云母化、泥 化、褐铁矿化、 硅化等	二长 花 岗 岩	239.1 ± 1.8 Ma	何亮等, 2020a
3	青果 石墨 矿	岩浆混染 型	大型	固定碳 106.94 万吨,平均品位 8.40%	板 状、不 规则状	晶质石墨及 少量黄铁 矿、磁黄铁 矿、磁铁矿	二长花岗岩	绢云母化、泥 化、褐铁矿化、 硅化、电气石化 等	二长 花 岗 岩	244.7 ± 1.3 Ma	何 亮 等, 2020b
4	巴夏 菱镁 矿	风化淋滤 型	大型	菱镁矿 1.66 亿吨, 平均品位 46.57%	_	菱镁矿	橄 榄 岩、蛇 纹 岩、白云岩	碳酸岩化、硅 化、大理石化等	超基性岩	中一晚三 叠世	丁建华 等,2013
5	卡 贡 铁矿	沉积 - 改 造型	中型	矿石 1257 万吨, TFe 品位 39.73% ~61.48%	脉 状、透 镜 状、囊 状、串 珠 状	赤 铁 矿, 菱 铁矿	卡贡组千枚岩、 板岩及局部结 晶灰岩	褐(赤)铁矿 化、绢云母化、 硅化、高岭土化	花岗闪长 岩	晚三叠世	谢 尧 武 等, 2007 ^④
6	吉 塘 铁矿	沉积 - 改 造型	小型	矿石 64.64 万吨, TFe 品位约 30% ~ 50%	极不规则 脉状、团 块状、囊 状	赤铁矿、褐 铁矿、镜铁 矿、辉铜矿、 孔雀石、蓝 铜矿	卡贡组白云质 大理岩、灰岩和 白云岩、板岩	碳酸盐化、接触 带角岩化	角闪二长 岩	晚三叠世	谢 尧 武 等, 2007 ^④
7	塞 北 弄 锡 矿	石英脉型	小型	_	透镜状	锡石、黄铁 矿、菱铁矿、 磁铁矿、褐 铁矿	上三叠统阿堵 拉组长石石英 砂岩	硅化、电气石化 和碳酸盐化等	二长花岗 岩	99. 16 Ma/74. 9 Ma	申屠保勇 和王增, 1991;向 天秀等,
8	拉 荣 钨 钼 矿	斑岩型	大型	WO ₃ 14.06 万吨, 平均品位 0.11%; Mo 3.37 万吨,平均 品位 0.03%	透镜状、 条带状	白 钨 矿、辉 钼 矿、黄 铜 矿、黄铁矿	花岗闪长斑岩、 石英片岩、黑云 母花岗斑岩、二 长花岗斑岩、绿 片岩	角岩化、硅化、 绢云母化、黄铁 矿化、白云母 化、钾化、绿码 石化、高岭土 化、碳酸盐化、 叶蜡石化、萤石	二长 花 岗 斑岩	91.8 ± 0.5 Ma	刘俊等, 2019
9	冬	石 英 脉 型/云 英 岩型	中型	WO ₃ 2.53 万吨,平 均品位 0.26%;Cu 17.51 万吨,平均品 位 0.76%	透镜状	黑 钨 矿、黝 铜 矿、黄 铜 矿、锡石	蚀变二长 花岗岩	化等 云英岩化、硅 化、电气石化等	二长花岗 岩	77. 5 Ma	普布扎西 等, 2017 ^②
10	滨铜锌金矿	热液脉型	中型	Cu + Pb + Zn 31 万 吨; Cu 平均品位 1.71%, Pb 平均品 位 2.24%, Zn 平均 品位 1.86%	层状 - 似 层 状、透 镜状	黄铜矿、方 锅矿、辉矿、 方锑矿、闪锌矿、 黄铁矿、孔 铜 矿	上三叠统桑多 组砂岩与板岩、 早白垩二长花 岗岩、元古代吉 塘岩群二云片 岩、斜长片麻岩	褐铁矿化、孔雀 石化、黄铁矿 化、硅化、绿泥 石化、绿帘石化 等	二长花岗 岩	燕山晚期	梗旦次仁 等, 2018 [©]
11	因 者 铅 矿	热液脉型	中型	Ag 250.61 吨,平均 品位 78.43 克/吨; Pb 9.31 万吨,平均 品位 3.51%; Zn 2.98 万吨,平均品 位 0.97%	脉 状 、透 镜状	方铅 矿、闪 锌 矿、黄 領 矿、黄 铁 矿、 毒 砂、黝 铜 矿、褐铁矿	晚三叠世黑云 母二长花岗岩 体	绢云母化、白云 母化、绿 泥 石 化、硅化、绿帘 石化、高岭土化	二长 花 岗 岩	燕山晚期	李小亮, 2011;普 布扎西 等, 2017 ²

续着	長1										
12	谢 坝 铅 锌 矿	热液脉型	中型	Pb + Zn 23.34 万 吨; Pb 平均品位 0.54%, Zn 平均品 位5.34%	条 带 状、 似层状	闪 锌 矿、菱锌 矿、方 铅矿、黄铁矿	上三叠统阿堵 拉组长石石英 砂岩	硅化、褐铁矿化	黑 云 母 二 长花岗岩	燕山晚期	张 民, 2014
13	索铅 多属	热液脉型 + 砂卡岩 型	小型	Pb 0.95 万吨,平均 品位 0.37%; Zn 39.39 万吨,平均品 位 14.81%; Ag 141.5 吨,平均品位 55.52 克/吨; Cu 0.46 万吨,平均品 位 0.56%	透镜状、 不规则状	闪锌矿、方 铅矿、锡石、 黄锡矿、黄 铜矿、磁黄 铁矿、黄铁 矿	下石炭统马查 拉组灰岩、石英 砂岩	硅化、大理岩 化、砂卡岩化、 角岩化、碳酸盐 化	花岗斑岩	燕山晚期	李小亮, 2011
14	赵	MVT 型	大型	Pb + Zn 500 万吨; Zn 品位 10.98% ~ 12.35%, Pb 品位 10.76% ~12.56%	脉 状、透 镜状	方 铅 矿 、菱 锌 矿 、黄 铁 矿 、白铁矿	上三叠统甲丕 拉组和下二叠 统里查组灰岩	白云石化	_	41.1 ± 1.1 Ma	Liu et al., 2016
15	南 越 拉 铅 锌矿	MVT 型	中型	Pb + Zn 19.39 万 吨, 平 均 品 位 5.49%	脉 状、透 镜状	方铅矿、闪 锌矿、钼铅 矿、白铅矿、 铅矾、菱锌 矿、异极矿、 黄铁矿	下二叠统里查 组白云质灰岩	绿帘石化、绿 泥石化、重晶 石化、萤石化、 大理岩化、黏土 化	_	喜山期	何亮等, 2017
16	拉 拢 拉 铅 锌矿	MVT 型	大型	Pb + Zn 200 万吨; Zn 品位 2.81% ~ 23.21%, Pb 品位 0.42% ~11.51%	透镜状	方铅 矿、闪 锌 矿、菱 锌 矿、菱铁矿、 黄铁 矿、白 铅矿	上三叠统波里 拉组灰岩、甲丕 拉组泥页岩	方解石化和萤 石化	_	38.1 ± 0.8 Ma	刘 英 超 等,2014; Liu et al., 2016
17	干 中 雄 铅 锌矿	MVT 型	大型	Pb + Zn 187 万吨; Zn 平均品位 4.9%,Pb平均品位 1.49%	似层状	褐 铁 矿、闪 锌 矿、铅 锌 矿	上三叠统乱泥 巴组结晶灰岩、 大理岩	褐铁矿化、白云 石化、重晶石 化、大理岩化等	_	喜山期	李小亮, 2011; 普 布扎西 等, 2017 ²
18	拉 玛 铅 铲 矿	MVT 型	大型	Zn 平均品位 1.08%~3.04%, Pb 平均品位 1.86%~1.90%	条 带 状、 似层状	纤 硫 锑 铅 矿、闪锌矿、 黄铁 矿、雌 黄、辰砂	上三叠统波里 拉组灰岩	方解石化、黄铁 矿化、硅化、磁 黄铁矿化等	喜山期花 岗质岩石	29. 9 Ma	 陶琰等, 2011;毕 献武等, 2019
19	错铅多属	热液脉型	小型	Pb1.69万吨,平均 品位 1.89%; Zn 2.66万吨,平均品 位 3.31%; Sn 0.14 万吨,平均品位 0.14%; Cu 0.43万 吨,平均品位 0.66%	脉 状、透 镜状	方 铅 矿、闪 锌 矿、黄 铜 矿、辉银矿、 黄铁矿	上三叠统阿堵 拉组长石石英 砂岩、石英砂岩	硅化、绢 英 岩 化、方解石化	花岗斑岩	30 Ma	普布扎西 等, 2017 ² ; 毕献武 等,2019

的形成(Zhang et al., 2011)。板片断离后(图 15C),软流圈上涌诱发加厚羌塘地壳的深熔(Peng et al., 2019),从而形成了晚三叠世东达山岩体 (Peng et al., 2015)、吉塘岩体(Tao et al., 2014)、拉 荣英安斑岩和花岗闪长斑岩(Liu et al., 2020a)等众

多岩浆岩。晚三叠世岩体(如吉塘岩体;Tao et al., 2014)的侵位提供了大量的热源,促进了卡贡组地 层中含铁建造的变质改造与成矿流体的运移,从而 导致卡贡、吉塘沉积 - 改造型赤铁矿矿床的形成 (谢尧武等,2007^④)。

3.2 中特提斯阶段

随着古特提斯洋的俯冲关闭,中特提斯洋(怒 江洋)在二叠纪之前开启,并于中—晚三叠世开始 俯冲(Metcalfe, 2013; Zhu et al., 2013, 2016; Deng et al., 2014a; Zeng et al., 2016; Zhang et al., 2017; Li et al., 2018)。目前大部分学者支持中特提斯洋为 南北双向俯冲的观点(Metcalfe, 2013; Deng et al., 2014a)。关于洋盆闭合的时限,相对争议较大(Yin and Harrison, 2000; Kapp et al., 2007; Baxter et al., 2009; Cao et al., 2019; He et al., 2017)。Jiang et al. (2021)通过系统梳理前人的研究成果并结合深部 地球物理资料,指出中特提斯洋盆的闭合具有穿时 性,东段可能在中侏罗世—早白垩世早期已经闭合, 西段可能直到晚白垩末期才完全闭合。

中特提斯洋盆在晚白垩世之前完成闭合后,拉 萨 - 羌塘地块发生强烈的碰撞(Baxter et al., 2009; Metcalfe, 2013;Li et al., 2018;He et al., 2019)。随 后继续俯冲的中特提斯洋板片发生断离、下沉,软流 圈上涌诱发富含成矿金属的藏东古老地壳基底的重 熔。重熔的壳源岩浆与幔源岩浆发生了一定程度的 混合形成了母岩浆,之后母岩浆沿构造向上迁移到 浅部(图 15D; Liu et al., 2020a)。由于母岩浆在上 侵的过程中发生了充分的结晶分异,此时的岩浆富 含大量的成矿元素和挥发分。随着岩体的浅部就 位,富含W、Mo成矿元素的热液流体出溶并与岩体 及围岩发生了强烈的水岩反应,导致拉荣斑岩 W-Mo 矿床的形成(图 15D;刘俊,2020);富 Sn 的含矿 热液沿着断裂向浅部运移并在围岩地层中卸载沉 淀,导致塞北弄锡矿的形成(图 15D;罗梅等, 2014);富含 Cu、W、Sn、Pb、Zn 成矿元素的气液流体 沿着构造运移,在岩体顶部节理、裂隙面附近强烈交 代岩体导致冬仆鲁矿床钨锡铜矿化的发育,在外围 地层中形成与同期岩浆活动有关的中低温铜铅锌矿 化(冬仆鲁; 普布扎西等, 2017²); 富含 Cu、Pb、Zn 成矿元素的热液流体在索打岩体外接触带与碳酸盐 地层发生反应形成砂卡岩型铜矿化,在外围浅部地 层中形成热液脉型铅锌矿化(李小亮,2011);富含 Pb、Zn 成矿元素的含矿流体向上迁移,在围岩层间 破碎带和断层面附近发生充填交代形成滨达(梗旦 次仁等,2018)、因多者(李小亮,2011)等矿床。需 要特别说明的是,上述 W-Sn-Mo-Cu 多金属与 Pb-Zn 多金属两个成矿系列可能具有成因联系,如东仆鲁 铜钨(锡)矿床自岩体向外具有铜钨锡→铜铅锌的 成矿分带,与之相关的夏雅岩体外围还发育有独立 的谢坝热液脉型铅锌矿床(张民,2014)。其他矿床 (如拉荣、塞北弄、滨达、因多者等)中并未识别出类 似的矿化分带现象,则暗示了上述两个成矿系列绝 大多数情况下可能是相互独立的。

3.3 新特提斯阶段

传统的观点认为,印度板块向欧亚板块的持续 挤压导致藏东地区发生大规模的逆冲推覆、走滑剪 切,并触发了强烈的岩浆-成矿事件(Hou et al., 2003;芮宗瑶等,2004)。然而,近年来有学者发现 陆内走滑剪切的时代(<31 Ma; Tang et al., 2013) 明显晚于富碱岩浆岩的侵位时代(41~37 Ma; Hou et al., 2003, 2007; Liang et al., 2006; Lin et al., 2018)。因此,藏东"三江"地区晚始新世富碱岩浆 作用可能与增厚榴辉岩下地壳与岩石圈地幔的共 同拆沉相关(Liu et al., 2017)。此外,研究表明藏 东地区岩浆作用除了发育伸展背景下软流圈上涌 诱发富集地幔部分熔融形成的富碱岩浆岩(主要发 育于玉龙铜矿带)外,还包括与逆冲、推覆、剪切、走 滑作用有关的中上地壳物质发生深熔形成的花岗 质岩石(主要发育于类-左带)(毕献武等,2019;尹 福光等,2021)。

类 - 左带内喜山期强烈的构造 - 岩浆活动驱动了盆地内低温高盐卤水的运移,在此过程中流体从基底岩石与围岩地层中萃取了大量的金属元素(Pb、Zn、Ag、Sb等)、硫及挥发分等并向上迁移,之后在地壳浅部逆冲推覆带内大断裂旁侧的低序次断裂韧性剪切带发生沉淀,从而导致带内喜山期MVT型Pb-Zn多金属矿床的集中爆发(图15E;赵 发涌、南越拉、拉拢拉、干中雄、拉若玛等;Hou et al., 2007;刘英超等,2013;Deng et al., 2014b;罗梅等, 2014;Liu et al., 2016;Lin et al., 2018;)。另外,少量花岗(斑)岩外围形成了热液脉型铅锌矿床,如错那铅锌矿(图15E;毕献武等,2019)。

4 结论

藏东类乌齐 - 左贡成矿带是三江特提斯成矿 域内一条重要的成矿带,本次在带内共识别出了6 个成矿系列,包括:(1)印支期晶质石墨矿系列;(2) 印支期蛇绿岩相关风化淋滤型菱镁矿系列;(3)印 支期沉积 - 改造型 Fe-Cu 多金属系列;(4)燕山期 与中酸性岩浆岩相关的 W-Sn-Mo-Cu 多金属系列; (5)燕山期热液脉型 Pb-Zn 多金属系列;(6)喜山期



图 15 类乌齐 - 左贡成矿带构造演化与成矿模式图(据 Liu et al., 2020a 修改)

Fig. 15 Sketch of tectonic evolution and mineralization of the Leiwuqi-Zogang metallogenic belt(modified from Liu et al., 2020a)

MVT型 Pb-Zn 多金属系列。带内成矿作用与古、 中、新特提斯洋的构造演化过程密切相关,未来带 内找矿过程中应该强化成矿系列、成矿模型的理论 指导。

致谢:两位匿名审稿专家和编辑老师对论文提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

注释:

- ①巴桑多吉,米玛扎西,何亮,等,2018. 西藏左贡县拉荣地区1:5 万四幅区域地质调查报告[R].西藏自治区地质矿产勘查开发局 第六地质大队.
- ②普布扎西,何亮,代顺军,等,2017. 西藏加多岭地区1:5万矿产 地质调查报告[R]. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质 大队.
- ③陈建平,唐菊兴,付小方,等,2003.西南三江北段成矿规律和找 矿方向综合研究成果报告[R].中国地质调查局成都地质调查 中心.
- ④谢尧武,彭兴阶,陈德泉,等,2007.西藏1:25万拉萨市、泽当 镇、囊谦县、昌都县、江达县、贡觉县、八宿县、然乌区、芒康县、巴 昔卡、巴沙(1/5)、察隅县、曼加得(1/7)、德钦县幅区调编图[R]. 西藏自治区地质调查院.
- ⑤董宇,吴江华,次旦,等,2019. 西藏自治区左贡县拉荣矿区钨 (钼)矿普查报告[R]. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质

大队.

⑥梗旦次仁, 普布扎西, 包继财, 等, 2018. 西藏昌都市类乌齐县滨 达多金属矿普查报告[R]. 西藏强顺勘查技术服务有限公司.

参考文献(References):

- Baxter A T, Aitchison J C, Zyabrev S V, 2009. Radiolarian age constraints on Mesotethyan ocean evolution, and their implications for developmentof the Bangong-Nujiang suture, Tibet[J]. Journal of the Geological Society, 166(4): 689-694.
- Cao H W, Zhang Y H, Pei Q M, et al., 2017. U-Pb dating of zircon and cassiterite from the Early Cretaceous Jiaojiguan iron-tin polymetallic deposit, implications for magmatism and metallogeny of the Tengchong area, western Yunnan, China[J]. International Geology Review, 59(2): 234 – 258.
- Cao H W, Zhang Y H, Santosh M, et al., 2019. Petrogenesis and metallogenic implications of Cretaceous magmatism in Central Lhasa, Tibetan Plateau: A case study from the Lunggar Fe skarn deposit and perspective review [J]. Geological Journal, 54: 2323 -2346.
- Cao K, Yang Z M, Mavrogenes J, et al., 2019. Geology and genesis of the giant Pulang porphyry Cu-Au district, Yunnan, Southwest China [J]. Economic Geology, 114(2): 275 – 301.
- Courtney-Davies, L., Zhu, Z Y., Ciobanu, C L, et al., 2016. Matrixmatched iron-oxide laser ablation ICP-MS U-Pb geochronology using mixed solution standards[J]. Minerals, 6(3): 1 – 18.
- Deng J, Wang Q F, Li G M, et al., 2014a. Cenozoic tectono-magmatic and metallogenic processes in the Sanjiang region, southwestern China[J]. Earth-Science Reviews, 138: 268 – 299.

- Deng J, Wang Q F, Li G M, et al., 2014b. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China [J]. Gondwana Research, 26(2): 419-437.
- He H Y, Li Y L, Wang C S, et al., 2019. Petrogenesis and tectonic implications of Late Cretaceous highly fractionated I-type granites from the Qiangtang block, central Tibet[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 176: 337 – 352.
- Hou Z Q, Ma H W, Zaw K, et al., 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. Economic Geology, 98(1): 125 – 145.
- Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, et al., 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in SW China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 31(1-4): 48-87.
- Jiang S H, Jiang Y, Liu Y M, et al., 2021. The Bangong-Nujiang Suture Zone, Tibet Plateau: Its role in the tectonic evolution of the eastern Tethys Ocean[J]. Earth-Science Reviews, 218: 103656.
- Kapp P, DeCelles P G, Gehrels G E, et al., 2007. Geological records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet[J]. Geological Society of America Bulletin, 119(7 – 8): 917 – 933.
- Li S Z, Zhao S J, Liu X, et al., 2018. Closure of the Proto-Tethys Ocean and Early Paleozoic amalgamation of microcontinental blocks in East Asia[J]. Earth-Science Reviews, 186: 37-75.
- 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 Arc, eastern Tibet Plateau [J]. Ore Geology Reviews, 90: 795 -812.
- Li X K, Chen J, Wang R C, et al., 2018. Temporal and spatial variations of Late Mesozoic granitoids in the SW Qiangtang, Tibet: Implications for crustal architecture, Meso-Tethyan evolution and regional mineralization [J]. Earth-science reviews, 185; 374 - 396.
- Liang H Y, Campbell I H, Allen C, et al., 2006. Zircon Ce⁴⁺/Ce³⁺ ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet [J]. Mineralium Deposita, 41(2): 152-159.
- Lin B, Wang L, Tang J, et al., 2018. Geology, geochronology, geochemical characteristics and origin of Baomai porphyry Cu (Mo) deposit, Yulong Belt, Tibet [J]. Ore Geology Reviews, 92: 186 -204.
- Liu J, Li W C, Zhu X P, et al., 2020a. Magmatic evolution and related W-Mo mineralization in the Larong deposit, eastern Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes[J]. Ore Geology Reviews, 120: 103411.
- Liu J, Li W C, Zhu X P, et al., 2020b. Ore genesis of the Late Cretaceous Larong porphyry W-Mo deposit, eastern Tibet: Evidence from in-situ trace elemental and S-Pb isotopic compositions [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 190:104199.
- Liu J, Li W C, Zhu X P, et al., 2020c. Origin and evolution of oreforming fluids of the Larong W-(Mo) deposit, eastern Tibet: Constraints from fluid inclusions, H-O isotopes, and scheelite geochemistry[J]. Ore Geology Reviews, 124: 103620.
- Liu Y C, Hou Z Q, Yang Z S, et al., 2016. Geology and chronology of the Zhaofayong carbonate-hosted Pb-Zn ore cluster: Implication for regional Pb-Zn metallogenesis in the Sanjiang belt, Tibet [J]. Gondwana Research, 35: 15 – 26.
- Liu Z, Liao S Y, Wang J R, et al., 2017. Petrogenesis of late Eocene

high Ba-Sr potassic rocks from western Yangtze Block, SE Tibet: A magmatic response to the Indo-Asian collision [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 135: 95 – 109.

- Metcalfe I, 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 66: 1-33.
- Peng T P, Zhao G C, Fan W M, et al., 2015. Late Triassic granitic magmatism in the Eastern Qiangtang, Eastern Tibetan Plateau: Geochronology, petrogenesis and implications for the tectonic evolution of the Paleo-Tethys [J]. Gondwana Research, 27 (4): 1494 – 1508.
- Peng Y B, Yu S Y, Li S Z, et al., 2019. Early Jurassic and Late Cretaceous granites in the Tongka micro-block, Central Tibet: Implications for the evolution of the Bangong-Nujiang ocean [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 194: 104030.
- Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, et al., 2008. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean-style closure of the Paleo-Tethys Ocean[J]. Geology, 36(5): 351-354.
- Sheng X Y, Bi X W, Hu R Z, et al., 2019. The mineralization process of the Lanuoma Pb-Zn-Sb deposit in the Sanjiang Tethys region: Constraints from in situ sulfur isotopes and trace element compositions[J]. Ore Geology Reviews, 111: 102941.
- Tang Y, Liu J, Tran M D, et al., 2013. Timing of left-lateral shearing along the Ailao Shan-Red River shear zone: constraints from zircon U-Pb ages from granitic rocks in the shear zone along the Ailao Shan Range, Western Yunnan, China [J]. International Journal of Earth Sciences, 102(3): 605-626.
- Tao Y, Bi X, Li C, et al., 2014. Geochronology, petrogenesis and tectonic significance of the Jitang granitic pluton in eastern Tibet, SW China [J]. Lithos, 184: 314 - 323.
- Wang C M, Bagas L, Lu Y J, et al., 2016. Terrane boundary and spatio-temporal distribution of ore deposits in the Sanjiang Tethyan Orogen: Insights from zircon Hf-isotopic mapping[J]. Earth-Science Reviews, 156: 39-65.
- Wang X Y, Wang S F, Wang C, et al., 2018. Permo-Triassic arc-like granitoidsalong the northern Lancangjiang zone, eastern Tibet: Age, geochemistry, Sr-Nd-Hf isotopes, and tectonic implications [J]. Lithos, 308: 278 - 293.
- Xu R, Li W C, Deng M G, et al., 2019. Genesis of the superlarge Luziyuan Zn-Pb-Fe(-Cu) distal skarn deposit in western Yunnan (SW China): Insights from ore geology and C-H-O-S isotopes[J]. Ore Geology Reviews, 107: 944 – 959.
- Yalikun Y, Xue C J, Symons D T A, 2018. Paleomagnetic age and tectonic constraints on the genesis of the giant Jinding Zn-Pb deposit, Yunnan, China[J]. Mineralium Deposita, 53: 245 – 259.
- Yang T N, Zhang H R, Liu Y X, et al., 2011. Permo-Triassic arc magmatism in central Tibet: evidence from zircon U-Pb geochronology, Hf isotopes, rare earth elements, and bulk geochemistry[J]. Chemical Geology, 284(3-4): 270-282.
- Yin A, Harrison T M, 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28(1): 211-280.
- Zeng M, Zhang X, Cao H, et al., 2016. Late Triassic initial subduction of the Bangong-Nujiang Ocean beneath Qiangtang revealed: stratigraphic and geochronological evidence from Gaize, Tibet [J]. Basin Research, 28(1): 147-157.

- Zhai Q G, Jahn B M, Su L, et al., 2013. Triassic arc magmatism in the Qiangtang area, northern Tibet: Zircon U-Pb ages, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics, and tectonic implications [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 63: 162 – 178.
- Zhai Q G, Zhang R Y, Jahn B M, et al., 2011. Triassic eclogites from central Qiangtang, northern Tibet, China: petrology, geochronology and metamorphic P-T path[J]. Lithos, 125(1-2): 173-189.
- Zhang K J, Tang X C, Wang Y, et al., 2011. Geochronology, geochemistry, and Nd isotopes of early Mesozoic bimodal volcanism in northern Tibet, western China: Constraints on the exhumation of the central Qiangtang metamorphic belt [J]. Lithos, 121 (1 - 4): 167 - 175.
- Zhang Y X, Li Z W, Yang W G, et al., 2017. Late Jurassic-Early Cretaceous episodic development of the Bangong Meso-Tethyan subduction: Evidence from elemental and Sr-Nd isotopic geochemistry of arc magmatic rocks, Gaize region, central Tibet, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 135: 212 – 242.
- Zhou H Y, Sun X M, Wu Z W, et al., 2017. Hematite U-Pb geochronometer: insights from monazite and hematite integrated chronology of the Yaoan gold deposit, southwest China [J]. Economic Geology, 112(8): 2023 - 2039.
- Zhu D C, Li S M, Cawood P A, et al., 2016. Assembly of the Lhasa and Qiangtang terranes in central Tibet by divergent double subduction [J]. Lithos, 245: 7 – 17.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, et al., 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau [J]. Gondwana Research, 23(4): 1429 – 1454.
- 白建科,陈隽璐,彭素霞,2018. 新疆奇台县黄羊山岩浆热液型石 墨矿床含矿岩体年代学与地球化学特征[J].岩石学报,34 (8):129-142.
- 毕献武, 唐永永, 陶琰, 等, 2019. 西南三江碰撞造山带沉积岩容矿 Pb-Zn-Ag-Cu 贱金属复合成矿与深部过程[J]. 岩石学报, 35 (5): 1341-1371.
- 陈毓川, 1994. 矿床成矿系列[J]. 地学前缘, 1(3-4): 90-94.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地 质学报, 80(10): 1501-1507.
- 丁建华,陈正海,杨国俊,等,2013. 中国菱镁矿成矿规律及资源潜 力分析[J].中国地质,40(6):1699-1711.
- 樊炳良, 白涛, 冯德新, 等, 2018. 藏东纽多黑云母二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄及成因[J]. 地质通报, 3(77): 1226-1235.
- 韩春明,肖文交,万博,等,2018. 东天山晚古生代一中生代构造演 化和内生金属矿床成矿系列[J].岩石学报,34(7):1914 -1932.
- 何亮,代顺军,邵锐,等,2020a. 藏东类乌齐-左贡成矿带地果大型石墨矿床含矿岩体时代与矿床成因[J]. 地球科学,45(8):
 2932-2944.
- 何亮,林彬,扎西平措,等,2020b. 西藏首例大型石墨矿床——青
 果矿床地质特征及含矿岩体 U-Pb 年龄[J].中国地质,48(2):
 359-373.
- 何亮,王海勇,胡俊文,等,2017. 西藏类乌齐县南越拉铅锌矿地质 特征及矿床成因[J].四川有色金属,(3):41-46.
- 李凯月,陈衍景,佘振兵,等,2018. 胶北荆山群张舍石墨矿碳同位 素特征及其地质意义[J].地学前缘,25(5):19-33.
- 李文昌,潘桂棠,侯增谦,等,2010.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, 薛迎喜, 卢映祥, 等, 2014. 中国斑岩铜矿成矿规律及找矿 方向[M]. 北京: 地质出版社.
- 李小亮,2011. 西藏东部类乌齐 左贡构造带铅锌多金属成矿规律 与成矿潜力研究[D].成都:成都理工大学.
- 刘俊,2020. 藏东拉荣大型钨(钼)矿床:岩浆作用与矿床成因[D]. 武汉:中国地质大学(武汉).
- 刘俊,李文昌,周清,等,2021. 斑岩型钨矿床研究进展[J].中国地质,48(3):732-748.
- 刘俊,祝向平,李文昌,等,2019. 藏东拉荣斑岩钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及地质意义[J].地质学报,93(7):1708-1719.
- 刘英超,侯增谦,于玉帅,等,2013. 西藏昌都地区拉拢拉类 MVT 铅锌矿床矿化特征与成因研究[J]. 岩石学报,29(4):1407 -1426.
- 罗梅, 潘凤雏, 李巨初, 等, 2014. 西藏羌塘 三江区金属矿床成矿 系列研究[J]. 地质学报, 88(12): 2556 - 2571.
- 潘桂棠,徐强,侯增谦,等,2003.西南"三江"多岛弧造山过程成 矿系统与资源评价[M].北京:地质出版社.
- 邱军强,丁希国,李虎,2012. 藏东类乌齐地区始新世钾玄质侵入 岩特征及构造环境[J].合肥工业大学学报(自然科学版),35 (4):520-525+576.
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 等, 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件 的响应[J]. 地学前缘, 11(1): 145-152.
- 申屠保涌,王增,1991. 藏东类乌齐赛北弄锡矿床地质特征及成因 类型[J].矿物岩石,(4):76-84.
- 宋玉财,侯增谦,刘英超,等,2017.特提斯域的密西西比河谷型 (MVT)铅锌矿床[J].中国地质,44(4):664-689.
- 宋玉财,侯增谦,杨天南,等,2011. "三江"喜马拉雅期沉积岩容 矿贱金属矿床基本特征与成因类型[J]. 岩石矿物学杂志,30
 (3):355-380.
- 陶琰,毕献武,辛忠雷,等,2011. 西藏昌都地区拉诺玛铅锌锑多金 属矿床地质地球化学特征及成因分析[J].矿床地质,30(4): 599-615.
- 王剑,谭富文,李亚林,等,2004. 青藏高原重点沉积盆地沉积特征 及其油气资源潜力分析[C]//全国沉积学大会论文集. 北京: 地质出版社.
- 王新雨,2018. 北澜沧江带二叠一三叠纪花岗岩类对古特提斯洋俯 冲、闭合过程的约束[D].北京:中国地质大学(北京).
- 向天秀, 雍永源, 1992. 西藏赛北弄锡床锡石的成因矿物学研究 [J]. 西藏地质, (1): 69-79.
- 薛建平,李成元,董明明,2017. 内蒙古索伦山地区风化淋滤型菱 镁矿找矿前景[J].中国矿业,26(S1):261-266.
- 尹福光,潘桂棠,孙志明,2021.西南三江构造体系及演化、成因[J].沉积与特提斯地质,41(2):265-282.
- 张民,2014. 西藏察雅县谢坝锌多金属矿床成矿机制探讨[D]. 成都: 成都理工大学.
- 周新,樊炳良,余佳树,等,2020. 藏东纽多石墨矿床含矿花岗岩锆 石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征 [J]. 地质通报,39(10): 1518-1526.
- 周新, 冯德新, 樊炳良, 等, 2020. 藏东纽多石墨矿床地质特征及成因[J]. 现代矿业, 35(11): 57-60.
- 朱弟成, 王青, 詹琼窑, 等, 2021. 三江北段晚三叠世构造 岩浆作 用和几个相关的科学问题[J]. 沉积与特提斯地质, 41(2): 232 - 245.

责任编辑:黄春梅