成矿构造体系对铅锌成矿系统的控制作用

——以会泽富锗铅锌矿床为例

王明志^{1,2)},韩润生^{1,2)},张艳^{1,2)}

1) 昆明理工大学 国土资源工程学院,昆明,650093;

2) 有色金属矿产地质调查中心,西南地质调查所,昆明,650093

内容提要:会泽铅锌矿是川滇黔铅锌多金属成矿区的超大型矿床之一。以该矿床铅锌成矿系统研究为主线, 结合近些年来前人的主要研究成果,深入分析了印支期造山背景对铅锌多金属成矿系统的控制作用,着重讨论了 成矿构造体系与成矿系统的成生联系。研究表明,受印支期(成矿期)碰撞造山背景约束,该区发生了斜冲走滑构 造作用,形成 NE构造带成矿构造体系,为铅锌成矿系统提供了流体"运"移和"储"存条件,构造驱动成矿流体沿会 泽矿山厂、麒麟厂断褶带发生大规模"运"移,并与盖层中碳酸盐岩发生水-岩相互作用。深部流体与盆地流体混 合、流体不混溶等构造-流体多重耦合作用,使流体物理化学条件改变,导致富矿流体沿三条 NE 向主断裂上盘背斜 的层间压扭性断裂带卸载沉淀,形成 NE 向延伸、SE 倾斜、SW 向侧伏延深的雁列式柱状矿体。研究认为,斜冲走 滑构造作用形成的成矿构造体系是制约该矿床"大(矿床、矿体规模大)、深(矿体延深大)、强(热液蚀变强)、带(矿 物组合分带明显)"特征的主要原因,"多(共伴生元素多)"与成矿流体迁移-聚沉过程中所经过岩石的性质有关。 该研究对川滇黔成矿区乃至同类矿床研究和深部勘查具有重要的理论意义和实际意义。

关键词:印支期造山成矿背景;成矿构造体系;成矿系统;会泽铅锌矿床;川滇黔成矿区

翟裕生先生指出,构造体系是控制矿床形成和 分布的基本要素,成矿系统是全面研究成矿要素和 成矿过程的自然系统,将构造体系研究与成矿系统 研究相结合,即构造-成矿系统研究思路,有助于全 面认识矿床成因和矿体分布规律(Zhai Yusheng, 2006),实现深部找矿的目标。成矿构造体系研究的 核心内容之一是成矿期构造应力场分析。成矿构造 的力学性质是控制热液矿床(体)赋存规律的重要因 素,构造的力学性质转化,使成矿流体物理性质发生 改变进而使成矿物质卸载沉淀。构造体制的变化引 起的力学性质转变对成矿的发生产生重要影响,在 成矿带尺度(Chen Yanjing, 2006; Wang Jingbin et al.,2006; Hou Zengqian et al.,2008; Li Wenchang et al.,2010)或矿田/床尺度(Chen Zhengle et al., 2011; Chen Bolin et al.,2010)上,对该方面的研究 可谓百花齐放。然而,构造几何学变化引起构造力 学性质转变的研究却凤毛麟角。以一条压扭性含矿 断裂为例,该类断裂沿走向或倾向常呈舒缓波状,不 同部位所处的应力状态有所差异,张开部位为矿质 沉淀和富集提供了有利空间(Chen Xuanhua et al., 2009;Sun Jiacong et al.,2016)。因此,压扭性成矿 构造是研究断层几何学(空间)变化引起其力学性质 转变导致成矿作用发生的最佳对象之一。大量地质 事实证明,这类构造不仅可以成矿,而且表现出连续 性好、规模较大的特殊控矿特征(Zhai Yusheng et al.,2002)。一般情况下,热液矿床主要受主压结构 面控制,此类结构面常为延深较大的断裂裂隙带,虽 然其中每条断裂或裂隙规模不大,但是总体规模较 大,因此,对于深部找矿勘查而言,识别压扭性结构 面的意义十分重要(Ye Tianzhu et al.,2007)。

 引用本文:王明志,韩润生,张艳. 2020. 成矿构造体系对铅锌成矿系统的控制作用:以会泽富锗铅锌矿床为例.地质学报,94(10):3008 ~3023, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020084.
 Wang Mingzhi, Han Runsheng, Zhang Yan. 2020. Thecontrol effect of metallotectonic system on lead-zinc metallogenic system: a case study of the Huize deposit, Yunnan Province. Acta Geologica Sinica, 94(10): 3008~3023.

注:本文为国家自然科学基金(编号 41572060,41802089)、云岭学者资助项目(2014)及云南省矿产资源预测评价工程实验室(2010)资助的成果。

收稿日期:2019-09-10;改回日期:2019-11-23;网络发表日期:2020-05-23;责任编委:毕献武;责任编辑:黄敏。

作者简介:王明志,男,1990年生,在读博士,矿产普查与勘探。Email:372180494@qq.com。通讯作者:韩润生,男,1964年生,研究员,博 士生导师,构造成矿动力学及隐伏矿预测研究方向。Email:554670042@qq.com。张艳,女,1981年生,博士后,讲师,实验地球化学与矿 床学研究方向。Email:78598874@qq.com。

压扭性结构面控矿特征突出的会泽超大型铅锌 矿床,是滇东北矿集区富铅锌矿床的典型代表之一。 这类矿床与前陆盆地演化和流体活动有关(Zhang Changqing et al., 2008), 与 MVT 型铅锌矿床均具 有后生热液矿床的共性特征,不少专家学者将其归 为 MVT 型铅锌矿床。但是,随着研究的不断深入, 二者确实存在明显的区别。在滇东北地区印支期造 山背景诱发的 NE 构造带成矿构造体系约束了这类 矿床铅锌成矿作用的发生。Han Runsheng et al. (2012,2014)在总结川滇黔铅锌多金属成矿区矿床 具有"富、大、多、深、强、高、带"等典型特征的基础 上,针对该类矿床构造控矿作用明显、含矿流体的交 代特征突出、流体高度富集成矿元素等特点,提出了 该类铅锌矿床构造-流体"贯入"成矿的观点。Han Runsheng et al.,(2014)基于该类矿床在成矿规律、 找矿技术方法等方面与典型 MVT 矿床的差异性, 进一步提出了"会泽型"(HZT)矿床新类型,强调滇 东北矿集区斜冲走滑构造对铅锌成矿的主导性控制 作用。该观点认为,在滇东北矿集区,富矿流体在构 造动力驱动下沿 NE 向斜冲走滑-断褶带"贯入",并 发生流体不混溶、流体混合等多重耦合作用(Zhang Yan et al., 2016), 导致富矿流体卸载沉淀, 最终形 成富锗铅锌矿床。Ran Chongying et al. (2017)也 认为将该类矿床厘定为"会泽型(HZT)"以显示该 类矿床的独特性与重要性是合理的。

虽然 Han Runsheng et al. (2001, 2012, 2016, 2019)等专家学者对该矿床构造控矿机理、成矿过程 有所论述, Zhang Yan et al. (2019) 从实验地球化 学的角度阐述了矿床品位高的形成机制。但是,极 少讨论印支期造山背景下成矿构造体系对成矿系统 的控制机理,成矿构造体系如何控制成矿流体的输 "运"和矿床的"储"存?构造又如何控制矿床的"大 (储量大)、多(共伴生元素多)、深(大延深)、强(蚀变 强)、带(矿物组合分带明显)等典型特征?这些问题 直接关系到该类矿床成矿理论的深化和深部找矿勘 查的高效部署。故本文以会泽铅锌矿为典型实例, 在系统收集和分析近些年来前人研究成果的基础 上,以成矿系统论(Zhai Yusheng et al., 1999, 2014)、矿田地质力学理论和方法为指导,讨论了 成矿系统"源、运、储、变、保"五要素,结合同类矿 床对比研究,进一步剖析造山构造背景下成矿构 造体系与矿床成矿系统的成生联系,以深化该类矿 床成因及其成矿规律的认识,为深部找矿勘查提供 新思路。

1 成矿地质背景综述

1.1 区域地质概况

川滇黔铅锌多金属成矿区地处扬子地块西南 缘,该区地层具有"双基双盖"结构,包括太古宇-中 元古界的结晶基底和上元古界的褶皱基底,以及震 旦系-二叠系海相沉积盖层和中新生界陆相沉积盖 层。区内岩浆活动频繁,晋宁期在冕宁、苏雄一带产 生从超基性到酸性 4 个大陆裂谷火山岩系列(L Xianhua et al., 2001); 加里东期沿张性断裂产出基 性-超基性岩浆岩;海西期大面积峨眉山玄武岩喷 发,构成了著名的峨眉山大火山岩省;印支一燕山期 仅沿深大断裂带发生小规模的岩浆活动,早期形成 碱性岩体,晚期为酸性花岗岩,局部发育基性岩浆 (Zhang Zhibin et al., 2006)。区内构造活动复杂, SN 向安宁河-绿汁江断裂、NW 向康定-水城深断裂 和 NE 向弥勒-师宗断裂三条边界深断裂控制了本 区的沉积建造、构造作用及岩浆活动,对区内铅锌矿 床的发育和分布也起着十分明显的控制作用。而 且,构造体系广泛复合,增加了构造识别和区分的难 度。根据断裂走向可归为三类:SN 向断裂带在川 西南地区发育,从西至东依次分布四条构造带(图 1、1~4);NW 向断裂带发育于黔西北地区,从西南 至东北依次分布两条构造带(图 1、13~14);NE 向 断裂带在滇东北地区发育,具有大致等距的特征,从 南至北依次分布八条构造带(图 1、5~12),与伴生 的 NW 向张扭性断裂一起构成"多"字形构造(Han Runsheng ,2006;2012)。

SN 向安宁河-绿汁江深断裂为一超壳深大断 裂,形成于晋宁早期,具有多期活动的特征(Liu Fuhui, 1984): 晋宁早期, 具张性特征;晋宁-澄江 期、加里东期、海西期岩浆活动活跃(Zhang Zhibin et al.,2006);印支期,断裂转为压扭性;燕山期至 喜马拉雅期,继续受到 NWW 向挤压,具强烈的压 扭性特征。SN 向小江深断裂为会理-昆明裂陷带内 次级深大断裂,其形成始于加里东中期,经历多期 力学性质的复杂转化,具多期活动的特征(Liu Fuhui, 1984): 早期具张性特征, 在海西期活动增 强,切割加深,玄武岩浆沿断裂喷发,从而控制了 该区东侧巨厚玄武岩层的分布;印支晚期主要表现 为左行走滑作用;燕山期受到了 EW 向挤压, 断裂 由东往西逆冲,力学性质转化为压性,断裂北段普 雄一带,可见二叠系玄武岩逆冲于侏罗系一白垩系 红层砂岩之上,并产生宽达 30 余米的挤压破碎带;





Fig. 1 Schematic map showing the distribution of the lead-zinc deposit and fault structure in the Sichuan Yunnan Guizhou mineralization district (modified after Liu Hechang et al. ,1999)

1-深大断裂;2-逆冲带;3-主压应力方向;4-峨眉山玄武岩;5-断裂编号;6-断裂;7-城市;8-超大型矿床;9-大-中型成矿;10-小 型矿床或矿化点;①-西昌-会理带;②-香炉山-宁南带;③-峨边-雷波带;④-石棉-会东带;⑤-罗平-普安带;⑥-宜良-曲靖带;⑦-寻 甸-宣威带;⑧-东川-镇雄带;⑨-会泽-牛街带;⑩-巧家-鲁甸-大关带;⑪-巧家-金沙江;⑫-永善-盐津带;⑬-威宁-水城带;⑭-垭都-蟒硐带

1—Major fault;2—thrust belts;3—the direction of maximum compressional stress;4—Emeishan basalts;5—fault NO;6—fault;7—city;8 super-large deposit;9—large and medium-sized deposit;10—small deposit and ineralization point; ①—Xichang-Huili zone of bruchfalten; ②—Xianglushan-Ningnan zone of bruchfalten; ③—Ebian-Leibo zone of bruchfalten; ④—Shimian-Huidong zone of bruchfalten; ⑤— Luoping-Puan zone of bruchfalten; ⑥—Yiliang-Qujing zone of bruchfalten; ⑦—Xundian-Xuanwei zone of bruchfalten; ⑧—Dongchuan-Zhenxiong zone of bruchfalten; ⑨—Huize-Niujie zone of bruchfalten; ⑩—Qiaojia-Ludian-Daguan zone of bruchfalten; ⑪—Qiaojia-Jinshajiang zone of bruchfalten; ⑫—Yongshan-Yanjin zone of bruchfalten; ⑬—Weining-Shuicheng zone of bruchfalten; ⑭—Yadu-Mangdong zone of bruchfalte 喜马拉雅期受到 NWW 向挤压,表现为左行走滑性 质。NE 向弥勒-师宗断裂,其沿线可见上古生界推 覆于三叠系之上,受燕山至喜山期持续影响。康定-彝良-水城断裂为扬子陆块内深大断裂(Wang Baolu et al.,2004),总体呈 NW 走向,其东南段(紫云-垭 都断裂)分为威宁-水城,垭都-蟒硐两支断裂,其间 为威水断陷盆地(Jin Zhongguo,2008),为贵州境内 二级与三级构造单元分界,其北东盘发育 NE 向褶 皱和断裂,左行特征显著,缺失或极少发育泥盆 系一石炭系,在其南西盘以 NW 向褶皱及断裂为 主,发育沉积厚度较大的泥盆系一石炭系。

川滇黔成矿区内的铅锌矿床是印支期造山事件 成矿响应的产物(Han Runsheng et al., 2014)。印 支期处于前陆盆地造山阶段,伴随着扬子大陆地体 增生和印支晚期古特提斯洋关闭,多个微块体拼合 造山使该区海西晚期的伸展背景转换成印支期的挤 压背景。强烈的印支造山运动,形成一系列前陆盆 地和造山带:北部为松潘-甘孜褶皱带和川西前陆盆 地,西部为哀牢山-红河碰撞造山带和楚雄前陆盆 地,东南部为越北造山带和右江前陆盆地。滇东北 矿集区 8 条 NE 走向、倾向 SE 的斜冲走滑构造组合 样式显示其主要压应力方向为 SE-NW 向,可见印 支期构造活动奠定了该区的构造格架。在侏罗纪-白垩纪(燕山期)陆内发展阶段,该区受太平洋板块 的影响,深断裂再次活化,加之陆内褶皱构造作用进 一步叠加和发展,川南-滇东褶皱冲断系定形于该期 (Wu Genyao, 2001)。在始新世(喜山期), 受印度板 块向欧亚大陆俯冲碰撞的影响,龙门山-锦屏山造山 带进一步推覆、隆升,金沙江断裂和哀牢山-红河断 裂发生了大距离走滑和云贵高原的抬升,造成了该 区近东西向拉伸形成近南北向的裂谷盆地及张性断 裂系统。

1.3 矿床典型特征

会泽超大型铅锌矿是川滇黔铅锌多金属成矿区的典型矿床之一,由矿山厂、麒麟厂、银厂坡铅锌矿 组成。截至目前,其铅锌金属量超过 700 万吨。 Han Runsheng et al. (2012)系统总结了该矿床具有 "富、大、多、深、强、高、带"的典型地质特征,即:①矿 床平均品位高,Pb+Zn \geq 25%~35%,局部高达 50%;②单个矿体富铅锌和共伴生矿种(Ge,Ag, Cd)的资源量可达大型矿床规模;③矿体除富集 Pb、Zn外,还富集 Ge、Ag、Cd、Ga、In 等共(伴)生组 分,矿石组构以粗粒、块状占绝对优势,矿体主要赋 存于震旦系—三叠系间的多层位的碳酸盐岩中;④ 矿体明显受斜冲走滑-断褶皱构造上盘的层间断裂 带控制,矿体与围岩界线截然,呈脉状、透镜状、囊 状、扁柱状、网脉状及似层状,"缓宽陡窄"特征明显, 延伸(>1600m)远大于延长(150~350m)(图 2),且 从浅部到深部,矿体厚度增加,品位变富,总体往 SW方向侧伏(图 3),赋矿白云岩-层间断裂-矿体具 有"三为一体"的矿化结构;⑤成矿温度比典型 MVT矿床高;⑥围岩蚀变强烈,矿化-蚀变分带性 好,矿物组合分带明显。其成矿过程可划分为两个 成矿期:热液成矿期及表生氧化期。其中热液成矿 期可进一步划分成四个成矿阶段:重晶石-铁白云 石-黄铁矿-深褐色闪锌矿阶段(Ⅱ)、深棕色闪锌矿-方铅矿阶段(Ⅱ)、方铅矿-褐色-淡黄色闪锌矿阶段 (Ⅲ)、黄铁矿-白云石-方解石阶段(Ⅳ)。

2 成矿构造体系及其时限

2.1 成矿构造体系

Han Runsheng et al. (2006, 2012) 基于滇东北 矿集区会泽等典型矿床不同方向控矿断裂的宏观和 微观鉴定,识别出各方向构造断裂面力学性质的复 杂转变过程。通过多期构造筛分和区域矿床对比研 究,认为该区自晋宁期以来至少历经了五期构造的 成生发展过程,依次为:早SN构造带→NE构造带 (成矿期)→NW 构造带→晚 SN 构造带→EW 构造 带。其中,NE构造带是该矿床成矿构造体系。研 究认为,会泽铅锌矿的成矿构造体系主要由一组左 列式"多字型"NE 向压扭性断裂-褶皱和一组 NW 向张扭性断裂组成,控制了区内矿山厂、麒麟厂、银 厂坡铅锌矿床(体)的分布。矿区主要有"多字型"和 "阶梯状"两种控矿构造型式。该矿床的成矿构造体 系不仅与黔西北、川西南矿集区典型矿床一致,而且 东川-镇雄之矿山厂斜冲走滑-断褶带控制了会泽、 雨碌等矿床组成的铅锌矿田; 矿山厂-麒麟厂断褶 构造控制了会泽超大型铅锌矿床; 矿山厂-麒麟厂 断层上盘背斜翼部的蚀变白云岩中 NE 向层间左行 压扭性断裂带直接控制了富厚矿体群的展布及其产 状(Han Runsheng et al.,2001)。

2.2 成矿构造体系时限

关于成矿构造体系的时限,韩润生等(2014)通 过地质推断一构造变形筛分一古应力值系统测量一 同位素约束的方法,认为滇东北矿集区内斜冲走滑-断褶构造与铅锌成矿时代同期发生,其主体形成时 代为印支晚期。从以下特征也可得到印证:①会泽 铅锌矿区麒麟厂斜冲走滑-断裂带内发育铅锌矿化



图 2 川黔滇铅锌成矿区矿山厂 25 号线剖面(b)及 1751m 平面简图(a)及力学性质分析(c) (转引自 Han Runsheng,2006 修改)

Fig. 2 The diagram of line 25 section and 1751m plane sketch in the Kuang shangchang deposit and it structural analysis in the Sichuan Yunnan Guizhou mineralization district (modified after Han Runsheng et al.,2006) 1—矿体;2—矿体号;3—断裂;4—层间断裂;5—地层界线;6—地层代号

1—Ore body;2—orebody code;3—fault;4—interlaminar fracture;5—lithostratigraphic boundary;6—stratigraphic code

构造透镜体化、片理化的玄武岩,反映了铅锌矿成矿 时代晚于玄武岩(Han Runsheng et al., 2014);②在 与滇东北矿集区相邻的四川天宝山铅锌矿床,矿区 内辉绿岩脉(锆石 U-Pb 定年为 157-166Ma)切穿了 矿体(Zhang Feng, 2017),说明成矿年代早于中侏 罗世;③截至目前,区内主要赋矿地层为上三叠统一 震旦系,多层位赋矿的最新地层约束了这类矿床成 矿年代的上限,指示其成矿年代发生至少晚于晚三 叠世。综合区域构造、岩浆岩、地层的证据,表明这 些铅锌矿床主要成矿时代为晚三叠世一中侏罗世。 不少专家学者通过同位素定年方法,认为川滇黔地 区铅锌矿成矿年龄大致为190~227Ma,其中,会泽 铅锌矿床主成矿年龄为 223~227Ma(Li Wenbo et al.,2004; Huang Zhilong et al.,2004)。同时,还需 指出的是,近年来一些专家学者获得了该矿床不同 的同位素年龄:Liu Yingying et al. (2013)获得会 泽、富乐厂铅锌矿床黄铁矿和闪锌矿-方铅矿 Re-Os 年龄(20.4 Ma 和 32Ma); Jiang Xiaojun et al. (2018)获得会泽铅锌矿 Re-Os 同位素年龄(38.24 ±0.41Ma 和 36.57±0.4Ma); Zhang Changqing et al. (2008)获得了会泽铅锌矿床伊利石 K-Ar 法年龄 (176Ma)。笔者认为,截至目前,该区发生多期铅锌 成矿作用的地质依据明显不足,这些年龄可能反映 了成矿后地质热事件的时代。

3 铅锌成矿系统

3.1 成矿系统:成矿物质和流体来源

成矿流体和成矿物质来源是成矿系统的主要要 素之一。自二十世纪九十年代以来,许多专家学者 相继开展了该矿床各类矿物同位素的研究(表 1~ 4),来示踪成矿流体和成矿物质来源,为深化铅锌成 矿系统研究奠定了基础。



图 3 麒麟厂平面图 a 和矿体垂直纵投影图 b(转引自 Han Runsheng,2006 修改)及矿体侧伏方向力学解析图 c Fig. 3 The schematic diagram of lateral overlying direction of ore body in the Qilinchang deposit

(modified after Han Runsheng et al. ,2006)

1一地层代号;2一矿体;3一断裂;4一层间断裂;5一地层界线

 $1-Stratigrapic\ code; 2-orebody; 3-fault; 4-interlaminar\ fracture; 5-lithostratigraphic\ boundary$

3.1.1 硫源

同一标高 δ^{34} S方铅矿 $<\delta^{34}$ S闪锌矿 $<\delta^{34}$ S黄铁 矿 $<\delta^{34}$ S重晶石, δ^{34} S黑色闪锌矿 $<\delta^{34}$ S棕色闪锌 矿 $<\delta^{34}$ S美色闪锌矿;对于同类型矿石的 δ^{34} S值, 麒麟厂高于矿山厂(麒麟厂标高低于矿山厂达 250m)。矿石中的硫(主要)来源于海相硫酸盐,热 化学还原硫作用 TSR(150℃以上)是还原硫的主要 生成机制(表1)。然而, δ^{34} S极差值最大可达 18‰, 单一来源的S似乎无法造成这么大的极差值。综合 分析认为,该区至少存在两种S同位素来源,笔者把 它们简化为A和B加以描述,A轻硫(深部来源),B 重硫(浅部来源),矿石是两种硫源流体混合的产物。 **3.1.2 C源**

综合方解石 C-O 同位素研究 (表 2),可将其归为两类,第一类为围岩地层与后期淋滤晶洞方解石 (高 δ^{13} C_{PDB},低 δ^{18} O),第二类为与矿石共生方解石 (低 δ^{13} C_{PDB},低 δ^{18} O),第二类为与矿石共生方解石 (低 δ^{13} C_{PDB},高 δ^{18} O_{SMOW}),NE 向构造带内的方解石 及蚀变白云岩为二者过渡,且更靠近后者。C-O 同 位素特征表明成矿流体中的 C-O 具有多源特征。 从白云岩,蚀变白云岩到方解石,碳、氧同位素呈现 明显的线性关系,有向深部演化的趋势。Han Runsheng et al. (2006)推测初始成矿流体来自深 部;Huang Zhilong et al. (2004)也具有类似的认 识,认为存在幔源(峨眉山玄武岩岩浆去气作用)来 源;Zhang Changqing et al. (2008)认为存在有机质 还原碳;Li Wenbo et al. (2006)和 Zhang Yan et al. (2016)根据流体往往具有负的 δ^{13} C值,推测成矿热 液流经矿体下伏的富含有机质地层,存在有机碳的 加入。综合分析认为,至少存在两种 C-O 来源(A: 低 δ^{13} C高 δ^{18} O,和 B:高 δ^{13} C低 δ^{18} O)。B 由碳酸盐 岩围岩提供。虽然大家对提供 A 的地质体的认识 不一致,不论是下伏基底、盖层、火山或深部幔源,这 类流体运移方向均自下往上以垂向运移为主。

3.1.3 流体来源

该矿床 H-O 同位素组成(表 3)在 δ^{18} O_{PDB}- δD_{H20} 图均落入变质水区和岩浆水区附近。Huang Zhilong et al. (2004)、Zhang Zhenliang(2006)侧重 于强调深部流体的作用, Zhang Changqing et al.

表 1 云南会泽铅锌矿床硫同位素组成(‰)统计

Table 1 Statistical table of S isotope of the Huize

	le	ad-zinc	deposit	Yunnan	provin	ce	
样品	测定	样品数	最小值	最大值	极差	平均值	数据
来源	对象	(个)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	来源
於山口	方铅矿	19	4.8	8.9	4.1	6.5	
19Щ)	闪锌矿	4	6.9	9.1	2.2	8.3	
	方铅矿	6	8.5	10.8	2.3	9.6	а
麒麟厂	闪锌矿	8	10.8	16.3	5.5	12.8	
	黄铁矿	6	12.1	15.2	3.1	15.2	
	方铅矿	5	10.6	13.2	2.6	11.78	
麒麟厂	闪锌矿	5	11.7	15.1	3.4	13.16	b
	黄铁矿	2	15.1	15.1	0	15.1	
矿山厂	方铅矿	5	10.94	13.02	2.08	11.64	
19Ц)	闪锌矿	13	12.53	17.68	5.15	14.85	
	方铅矿	8	11.25	14.49	3.24	13.2	с
麒麟厂	闪锌矿	22	13.36	17.24	3.88	14.89	
	黄铁矿	16	14.35	17.42	3.07	16.05	
矿山厂	方铅矿	4	11.15	15.94	4.79	12.55	
19Ц)	闪锌矿	6	13.02	13.88	0.86	13.42	
	方铅矿	3	10.87	14.82	3.95	12.58	d
麒麟厂	闪锌矿	8	11.8	23.49	11.69	14.84	
	黄铁矿	6	10.63	15.75	5.12	14.45	
int in⊀ []	方铅矿	8	8	11.8	3.8	9.83	
厩井 厩井	闪锌矿	8	12.8	14	1.2	13.43	е
矿山厂	方铅矿	8	8	11.8	3.8	9.8	
19Ц)	闪锌矿	9	12.8	14	1.2	13.39	f

注:a—Liao Wen et al.,1984;b—Zhou Chaoxian et al.,1996;c—Li Wenbo et al.,2004;d—Han Runsheng.,2006;e—Zhang Yan et al., 2016;f—Wang Lei et al.,2016。 (2008)认为以浅部流体为主。成矿流体 δD_{H_20} 偏低 是因为流体与围岩发生水-岩反应和交换作用 (Zhang Changqing et al.,2008),也有可能是下伏 有机质参与的结果(Li Wenbo et al.,2010)。但是, Zhang Yan et al.(2016)认为成矿流体存在混合作 用。综合分析认为,主要存在两种流体来源:A 为 具较重的 H-O 同位素的深部流体,B 为具较轻的 H-O 同位素的浅部流体。

3.1.4 Pb 源

Pb 同位素组成变化范围相对较宽(表 4),具壳 源 Pb 和造山带 Pb 的特征(Zhang Yan, 2016)。 Han Runsheng et al. (2007)认为该矿床 Pb 主要来 源于基底岩石;Zhang Yan(2016)根据 Pb 具有明显 的线性关系,推测铅具有混合来源。Kong Zhigang et al. (2018)通过川滇黔地区主要铅锌矿床²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb-²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb 构造演化曲线图分析,以会泽为代 表的矿床 Pb 主要来源于基底岩石和沉积盖层中多 源流体的混合。Pb 来源在区域上的变化规律一方 面印证了两种铅源存在,另一方面两种铅源的比例 决定了最终 Pb 同位素组成范围,这对区域铅锌矿 床研究具有启示意义。综合分析认为,这些矿床至 少存在两种 Pb 来源:A 由下部基底或有机质地层 提供,即从下往上运移的混合热液提供,B 由上部盖 层提供。综合 S-C-O-H-Pb 同位素组成特征,该区成

表 2 云南会泽铅锌矿床 C-O 同位素统计表

样品	δ ¹³ C _{PDB} ‰(均值)	δ ¹⁸ O _{SMOW} ‰(均值)	数据来源
白云岩围岩(地层)	$-0.8 \sim 0.85(0.25)$	19.3~23.2(21. 25)	a,b,c
晶洞方解石(后期淋滤)	0.5~1.1(0.8)	22.1~23.5(22.8)	a,c
蚀变白云岩(成矿期)	$-2.2 \sim -0.8(-1.5)$	20.50~21.0(20.75)	d
NE 向构造带方解石(成矿期)	$-3.4 \sim -3.0(-3.2)$	16.3~16.7(16.5)	с
与矿石共生方解石(成矿期)	$-3.5 \sim -2.1(-2.8)$	16.7~18.6(17.65)	a,c

Table 2 Statistical table of C-O isotope of the Huize lead-zinc deposit in Yunnan

注:a—Huang Zhilong et al.,2004,b—Chen Shijie et al.,1984;c—Li Wenbo et al.,2006;d—Han Runsheng et al.,2006。

表 3 云南会泽铅锌矿床 H-O 同位素组成统计表

Table 3	Statistical table of	H-O isotope of the	Huize lead-zinc deposit in	ı Yunnan
---------	----------------------	--------------------	----------------------------	----------

样品	δ ¹⁸ O _{H2} 0‰(均值)	∂D‰(均值)	数据来源
闪锌矿	2.2~17.1(9.65)	$-57 \sim -27(-42)$	b,e
矿石共生方解石	$-2.05 \sim 10.08(4.01)$	$-75 \sim -43.5(-59.25)$	a,b,c,d,g
重晶石	7.78~13.69(10.73)	$-91.3 \sim -61.7(-76.5)$	b,g,f

注:a—Huang Zhilong et al.,2004;b—Chen Shijie et al.,1984;c—Li Wenbo et al.,2006;d—Han Runshneg et al.,2006;e—Zhang Yan et al., 2016;f—Wang Lei et al.,2016;g—Liu Hechang et al.,1999。

矿流体和物质来源具有多源特点,主要有两类来源: A 为从深部基底往浅部运移的热流体,同位素具有 偏低的 δ³⁴ S‰,高 δ¹³ C 低 δ¹⁸ O,重 H 同位素和低 Pb 同位素的特征;B 为浅部地层盆地卤水(大气降水、 层间水等)流体。

3.2 成矿系统:成矿流体运移

伴随着成矿流体沿 NE 向斜冲走滑-断褶带发 生大规模运移,与围岩发生了水-岩相互作用,导致 成矿流体物理化学条件和流体组分发生变化(表 5、 6、8),形成矿化蚀变分带和构造地球化学异常。成

表 4 云南会泽铅锌矿床 Pb 同位素组成统计

Table 4 Statistical table of Pb isotope of the Huize lead-zinc deposit in Yunnan

样品	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb(均值)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb(均值)	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb(均值)	资料来源
黄铁矿	15.45~18.51(16.96)	15.66~15.75(15.70)	38.72~39.02(38.87)	
方铅矿	18.33~18.62(18.47)	15.647~15.75(15.70)	38.67~39.92(39.30)	
闪锌矿	18.18~18.57(18.37)	15.42~15.84(15.63)	38.39~39.35(38.87)	
矿石	18.43~18.49(18.46)	15.71~15.74(15.72)	38.86~38.97(38.92)	a,b,c,d,e
基底	17.19~20.99(19.09)	15.58~15.98(15.78)	37.03~40.80(38.91)	
盖层	17.88~22.31(20.1)	15.50~16.07(15.78)	37.69~41.90(39.80)	
玄武岩	18.17~19.01(18.59)	15.52~15.80(15.66)	38.38~39.92(39.15)	

注:a—Kong Zhigang.,2018;b—Huang Zhilong et al.,2004;c—Li Wenbo et al.,2006;d—Han Runshneg et al.,2006;e—Zhang Yan et al.,2016。

表 5 云南会泽铅锌矿床流体包裹体温度、盐度统计表

Table 5 Statistical table of fluid inclusions in the

Huize lead-zinc deposit in Yunnan								
白重体类刑马安主矿物	均一	盐度	资料					
包装体关型及苛主机初	温度(℃)	(wt%Na Cleq)	来源					
	$130 \sim 165$	9.85~13.12	а					
L+V(富液)方解石	110~380	6.61~21.11						
L+V(富气)方解石	350~401	$5 \sim 10$						
L+V(富液)闪锌矿成矿 I 阶段	$200 \sim 350$	>15	h					
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅱ阶段	150~250	1~8						
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅲ阶段	100~220	<10						
L+V(富气)寄主矿物	$230 \sim 240$	$17 \sim 19$						
L+V(富液)寄主矿物	140~240	$10 \sim 16$	C					
L+V(富液)寄主矿物	$150 \sim 200$	$4 \sim 8$						
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅰ阶段	170~280	12.8~22.5	d					
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅱ阶段	126~234	5.4~22.8						
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅲ阶段	134~191	3.2~19.3						
L+V(富液)方解石	86~163	1.1~14.8						
L+V(富液)闪锌矿成矿 I 阶段	$174 \sim 364$	4.7~20.1						
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅱ阶段	$155 \sim 239$	2.8~20.9	е					
L+V+S(富液)闪锌矿成矿[]阶段	130~200	28.0~28.9						
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅲ阶段	100~191	1.1~18.0						
L+V(富液)闪锌矿成矿Ⅳ阶段	100~191	1.5~7.1						

注:a—Zhang Zhenliang et al.,2006;b—Li Bo et al.,2010;c—Wu Yue et al.,2013;d—Zhang Yan et al.,2016;e—Han Runsheng et al.,2016。

矿流体在早阶段呈中高温-低盐度,在成矿主阶段总 体属中温(压力校正捕获温度>200℃)-中压((145 ~754)×10⁵ Pa)-中等盐度(5%~21%),成矿流体 在迁移阶段呈酸性,在卸载阶段呈中-弱碱性,方铅 矿、闪锌矿、黄铁矿等矿物大量析出(表 8)。因此, 成矿流体经历了从中高温-低盐度→中低温-中盐度 →中低温-低盐度的演化过程(表 6)。受控于 CO、 CO₂、O₂间逸度平衡的碳酸根离子和碳酸氢根离子 缓冲对调节了成矿流体的 pH 值,使碳酸盐岩在铅 锌的运移沉淀中发挥了至关重要的作用(Zhang Yan et al.,2016)。在成矿流体运移过程中,其组分 随之发生变化,来源于深部的 A 流体在长距离迁移 过程中,淋滤出元古界基底岩石中的 Pb、Zn 等成矿 元素,与浅部流体 B(萃取地层中硫酸盐(石膏、重晶石等)热地球化学还原硫、地层中的黄铁矿的盆地卤水)混合,在主断裂带上盘褶皱的层间断裂带内沉淀 富集成矿。

3.3 成矿系统:成矿流体沉淀和储存

由于构造活动的脉动性、控矿断层的几何学、力 学性质变化和两类流体混合作用,打破了成矿流体 物理化学条件的平衡状态,导致一些成矿物质先发 生沉淀,进入成矿流体沉淀和储存的演化阶段。沉 淀作用又进一步加剧了成矿流体物理化学的改变, 随着成矿流体的演化,形成了不同成矿阶段的矿物 组合。Zhang Yan (2016)、Han Runsheng et al. (2019)通过两类成矿流体识别、流体混合成矿实验 佐证,提出了该矿床流体迁移沉淀模式和沉淀机制, 其观点认为:来自基底的酸性硫酸盐氧化性流体,以 Pb、Zn 氯络合物形式与含还原硫的还原性流体以 各自方式运移,进入层间压扭性断裂带,发生减压沸 腾作用、并与含还原硫的地层卤水混合,导致金属硫 化物沉淀。该观点强调了成矿流体混合作用是成矿 物质沉淀和储存的主要原因。研究认为,构造作用 是促成两类流体混合的重要因素。

3.4 成矿系统:矿床变化和保存

铅锌矿床形成之后,该区转入陆内构造隆升-陆 相盖层形成阶段,在沉积盆地内形成三叠系、侏罗 系、白垩系碎屑岩岩石组合,尤其是作为"保护层"的 石炭系下统大塘组的万寿山段、二叠系下统梁山组、 三叠系上统宣威组等含煤或碳质地层及上覆碎屑岩 地层为铅锌成矿系统的保存提供了重要条件。成矿 后构造(NW构造带、晚 SN构造带及 EW构造带) 作用使铅锌成矿系统产生一定"变"化,一方面使少 量矿体遭受强烈的剥蚀作用暴露于浅部形成铅锌氧 化矿体,如会泽铅锌矿开发多年的矿山厂地表的大 量铅锌氧化矿石即为例证;另一方面成矿后构造导 致部分矿体发生"变"位,后期断层切错矿体,破坏了 矿体连续性,最终使主要矿体定位并得以保存。 "变"和"保"这两个要素的研究还需要深入研究,对 找矿勘查至关重要。

4 讨论

4.1 成矿构造背景对铅锌成矿系统的约束

Han Runsheng et al. (2019)认为,在印支期,川 滇黔成矿区因扬子陆块与印支陆块发生了碰撞造山 作用,导致中越交界的八布-Phu-Ngu洋、越北香葩 岛一海南屯昌一带洋盆在内的古特提斯洋关闭及南 盘江一右江裂陷闭合。区域构造应力向扬子陆块内 传导,在区内形成空间分布具广泛性、类型具分区 性和多样性的陆内走滑构造系统。构造作用使成矿 流体呈漩涡状被圈闭于该构造系统中,在滇东北矿 集区形成 NE 向左行斜冲走滑-断褶带,成矿流体沿 断褶构造带运移至主控断层的次级背斜翼部层间断 裂及其裂隙带中发生"贯入"-交代成矿作用,形成以 "似层状"、大脉状为主的铅锌矿体(如会泽、毛坪、乐 红等铅锌矿床)。因此,该矿床成矿系统是印支期陆 块碰撞造山作用成矿响应的产物。

与川滇黔成矿区类似的构造背景也产出铅锌多 金属矿床,如青藏高原造山形成了受逆冲推覆构造 系统控制的造山型 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床/类 MVT 矿 床(Hou Zenggian et al., 2008; Liu Yingchao et al.,2012),其成矿模式为:伴随着印度-亚洲大陆持 续碰撞,青藏高原东、北缘中生代构造岩片向盆地中 央推覆并置,形成单冲式或对冲式推覆构造,流体从 造山带沿拆离滑脱带长距离向前陆盆地方向运移, 运移过程中淋滤围岩的金属物质,通过主逆冲断裂 垂向沟通,进入浅部各式逆冲构造部位,形成不同样 式的矿床(Hou Zengqian et al., 2008; Liu Yingchao et al., 2012)。通过矿床对比不难发现, 会泽铅锌矿床与造山型铅锌矿床/类 MVT 铅锌矿 床(Liu Yingchao et al., 2012),在成矿构造背景上 具有一致性,压扭性断裂构造控矿特征明显,流体长 距离运移萃取/淋滤基底和围岩中的成矿物质,主控 矿断裂提供流体运移通道,构造和碳酸盐岩共同约 束储矿空间;在构造控矿样式上该矿床也与东莫扎 抓式铅锌矿床类似(图 4);除了成矿时代和区域流 体萃取下伏基底及部分盖层的成矿物质及共伴生组 分存在较大差异外,两类矿床的其他特征具有一致 性(表 6)。从侧面证明了造山构造背景是形成该类 铅锌矿床的核心因素。

因此,该类矿床的形成是造山构造背景下基底



图 4 云南会泽铅锌矿床与东莫扎抓铅锌矿床构造控矿特征对比图

(a 据 Liu Yingchao et al.,2012 修改,b 据 Han Runsheng et al.,2012 修改)

Fig. 4 Comparison of structural and ore-controlling characteristics between Huize lead-zinc deposit and Dongmozhazhua lead-zinc deposit in Yunnan(a modified after Liu Yingchao et al., 2012, b modified after Han Runsheng et al., 2012)
1一前陆盆地;2一造山带;3一沉积盖层;4一基底;5一矿体;6一成矿流体运移方向;7一逆断裂;8一碎屑岩;9一灰岩;10一峨眉山玄武岩;
11一地层时代;12一逆冲带;13—矿床类型

1—Foreland basin;2—orogenic belt;3—sedimentary cover;4—base;5—ore body;6—migration direction of ore-forming fluid;7—reverse fault;8—clastic rocks;9—limestone;10—Emeishan basalts;11—stratum;12—thrust belt;13-deposit

盖层和赋矿围岩、前陆盆地沉积演化与流体作用多 因耦合的结果,造山作用为成矿系统的发育提供了 时空约束。多因耦合(主要是构造、流体耦合)作用 导致酸性流体→中-弱碱性流体、氧化条件→还原条 件的变化与 A、B 流体混合作用,以及温度、压力等 临界条件的转化,使成矿流体在压扭性断裂带的扩 容空间内形成铅锌矿床(体)。其中,构造的贡献尤 为重要,贯穿于铅锌成矿系统的形成过程。

表 6	云南会泽铅锌矿与东莫扎抓铅锌矿床	3.对比表

	对比内容		会泽铅锌矿床(据 Han Runsheng et al., 2006)	东莫扎抓式铅锌矿床(据 Liu Yingchao et al.,2012)				
	成矿构造背景		造山带前陆盆地,发育斜冲走滑-断褶皱构造带	造山带前陆盆地前锋带,发育逆冲推覆				
	成矿	"构造系统	斜冲走滑-断褶构造	褶皱-逆冲推覆构造				
	成矿时间		223~227Ma	I期 41~33Ma,II 期 29~23Ma				
	矿	床规模	超大型	超大型				
		ç	主要来源于地层中海水硫酸盐,热化学还原硫	盆地卤水为还原硫的主要来源,生物和有机质还原得				
	我应用店	3	作用	酸盐作用				
	想正问位 麦伯成	C-O	碳酸盐岩与深部流体	碳酸盐岩,少量含 CO2变质流体提供				
湄	赤垣成	H-O	深部流体与盆地卤水	盆地卤水(少量变质流体)与有机质作用				
你		Pb	沉积盖层和基底岩石	以盖层为主,可能存在部分变质基底来源				
	成矿	物质来源	盖层和基底(多源)	区域地层乃至基底岩石(多源)				
	成矿	流体来源	深部地壳流体和浅部盆地卤水	盆地卤水和区域流体(地层封存水、变质水以及大气水 混合)				
		均一温度(℃)	150~221,320~364	硫化物 S3 阶段:范围 91~319,峰值约 140				
		盐度(wt%NaCl _{eq.})	1.1~5,5~11,12~18	S3 阶段:范围 6.3~24.8,峰值较高>20				
	流体包裹体 (运移方式) 运	气相成分	$H_2O>CO_2>CH_4>CO$	H ₂ O>CO ₂ >N ₂ >>O ₂ ,一定量有机气体				
		流体体系	$Ca^{2+}-Mg^{2+}-Na^{+}-Cl^{-}-HCO_{3}^{-}-SO_{4}^{2-}$	$Ca^{2+} - Na^{+} - Mg^{2+} \sim K^{+} - SO_{4}^{2-} - Cl^{-} - F^{-}$				
运		演化趋势	硫化物阶段:中高温、高盐度→中温、中高盐度 →中低温、中高盐度	S3 阶段:中低温、高盐度→低温、高盐度→中低温、中 高盐度				
		压力(Mpa)	145~754	90~524				
	成矿流	国体运移通道	深部以断褶构造中的扩容空间为主,浅部以岩 石孔隙等张性空间	区域形成的断裂-拆离滑脱带横向迁移,挤压间歇早期 逆断层伸展转化,纵向通道				
	Į	驱动力	构造驱动为主	构造驱动为主				
	វ៉ា	江淀机制	深部地壳流体与浅部盆地卤水混合作用	还原硫的本地流体(盆地卤水)和富金属物质的区域流 体混合				
	矿	石组构	块状、脉状、网脉状,以交代结构为主	浸染状、脉状、团块状、角砾状等				
	Pb+2	In 平均品位	>25%,局部大于 50%	2%~10%,最高 21%				
	矿	体延伸	>1600m	1730~1820m				
储	矿	*体形态	似层状、透镜状	似层状、透镜状				
	矿	矿化层位 下石炭统摆佐组、上震旦统灯影组的蚀变碳酸 盐岩		多层位白云岩化灰岩				
	共(/	半)生组分	富集 Ge,Ag,Cd,Ga,In 等	高 Gd(远不及会泽)				
	臼	变类型	白云石化、方解石化、硅化、黏土化	白云岩化、硅化绢云母化、重晶石化、萤石化、方解石化				
	蚀变	空间分布	蚀变强烈,范围较小,沿成矿构造带分布	局限,强烈				
	资料	来源	a	b				

注:a—Han Runsheng et al.,2006;b—Liu Yingchao et al.,2012

4.2 成矿构造体系对成矿流体运移的控制作用

4.2.1 成矿流体运移通道和驱动力

会泽铅锌矿床两类成矿流体性质差异明显,流体运移通道及其驱动力也有明显区别。A 成矿流体,矿化蚀变分布与斜冲断褶构造带关系密切,加之构造地球化学异常显示矿山厂、麒麟厂主断裂带中的成矿元素含量明显高于围岩(Han Runsheng et al.,2014),说明流体沿矿山厂、麒麟厂、银厂坡断褶构造带为主通道发生运移。根据成矿温度和成矿深度,地温梯度远不足以提供主要的热动力;铅同位素

均为正常铅,可以排除放射性元素衰变提供热动力 的可能(Hu Ruizhong et al.,2007);而区域上大面 积分布的峨眉山玄武岩被主控断层穿切,且与成矿 时代差异明显,同理可排除峨眉山玄武岩岩浆活动 提供热动力。因此,印支期碰撞造山运动在该区诱 发形成一系列断褶构造应是成矿热动力的理想提供 者。由于A流体主要来源于基底地层和深部流体, 说明其运移方向总体由深部向浅部运移,以垂向运 动为主;B流体为浅部地层盆地卤水,其成分为大气 降水、碳酸盐岩层间水等组成的盆地卤水,其运移距 离较 A 流体短,运移通道应为断裂、岩石孔隙等张 性空间,并且运移方向以水平方向移动为主,其驱动 力由构造、地形或重力等作用提供。正是由于构造 作用,导致两类流体既沿各自通道又发生混合后沿 控矿构造带发生大规模运移。

成矿构造体系对成矿流体运移的控制作用表现 为:一方面造山构造背景提供了构造驱动力使深部 流体长距离垂向运移,斜冲走滑构造带为流体运移 提供了通道,制约着成矿流体的主体运移方向,这类 流体具有偏低的 δ³⁴ S‰、较高 δ¹³ C、低 δ¹⁸ O、较重的 H同位素组成与中高温-低盐度、酸性和氧化的特 征,成矿物质的深部流体在"贯入"过程中,与围岩碳 酸盐岩发生水-岩相互反应,萃取下伏基底及部分盖 层的成矿物质,从而约束了矿床富集铅、锌、锗等成 矿元素,进而佐证了川滇黔成矿区西侧铅锌矿床 普遍含黄铜矿而东侧较少的原因,这是由于西部 矿床赋矿层位普遍偏老,特别是基底(昆阳群等) 提供了 Cu 等金属来源, 而东部个别矿床中 Cu 可 能来源于峨眉山玄武岩(Li Zhenli et al., 2018)。 因此,该矿床金属矿物组合与成矿流体迁移-汇聚 过程中经历的岩石性质有关;另一方面,前陆盆地 中浅部流体受造山作用、地形的重力作用发生侧向 运移,造成富含碳酸盐的地层盆地卤水侧向移动为 主。当两类流体在构造动力的驱动下在有利的构造 空间发生混合作用,导致矿质沉淀,决定了矿体的产 出部位。

4.2.2 同位素年龄对区域成矿流体运移方向的 示踪

为了更清晰地分析该区成矿事件的时空特征, 笔者尝试采用成矿时-空结构的三角图解来判定区 域成矿流体的运移方向(图5)。对于热液矿床,如 果统计的年龄数据可靠且数量可观,则这些数据的 变化趋势可以大致反映区域成矿流体的运移方向, 并可依据流体运移方向推测成矿期区域主压应力方 向。从图5可以看出,从海西期一喜山期,成矿流体 流向具有五种趋势,其中1、4和5三个流体运移趋 势与铅锌成矿无关外,箭头2和3两种趋势应是成 矿流体的运移方向,与前人(Cheng Penglin et al., 2015Wang Jian et al.,2018)研究结果一致,据此可 以推测该期区域主压应力为 NW-SE 向。

4.3 成矿构造体系对成矿储存的约束

Han Runsheng et al. (2019)认为流体"贯入"、 水-岩相互作用、水解、两类流体混合、流体不混溶等 作用,均可使流体物理化学条件发生变化。成矿流

Table	7	St	atistic	al tał	ole	of n	neta	llog	eni	ic age	e of	main	1	ead-z	inc
d	epo	osits	s in th	e Sic	hu	an-Y	unn	an-	Gu	izhou	ı tri	iangle	a	irea	

铅锌矿床	方法	年龄(Ma)	来源
会泽	闪锌矿 Rb-Sr	225.1	a
会泽	闪锌矿 Rb-Sr	226	b
会泽	方解石 Sm-Nd	225	с
会泽	方解石 Sm-Nd	223	d
会泽	方解石 Sm-Nd	227	е
会泽	黏土矿物 K-Ar	176.5	f
会泽	黄铁矿 Re-Os	32	g
会泽	方铅矿和闪锌矿 Re-Os	252-226-122-50	h
会泽	方解石 Sm-Nd	226	i
会泽	铅锌矿 Re-Os	38.24,36.57	j
茂租	方解石 Sm-nd	208	k
茂租	方解石 Sm-Nd	196	1
茂租	方解石 Sm-Nd	196	m
大梁子	闪锌矿 Rb-Sr	366.3	n
大梁子	方解石 Sm-Nd	204	о
金沙厂	闪锌矿 Rb-Sr	206	р
金沙厂	萤石 Sm-Nd	201	q
金沙厂	萤石 Sm-Nd	201	r
天桥	闪锌矿 Rb-Sr	191	s
富乐厂	方铅矿和闪锌矿 Re-Os	20	t
乐红	闪锌矿 Rb-Sr	200.9	u
四川宁南跑马	闪锌矿 Rb-Sr	200.1	v

注:a—Li Wenbo et al.,2004;b—Yin et al.,2000;c—Huang Zhilong et al.,2004;d—Li et al.,2018;e—Liu Feng et al.,2005;f—Zhang Changqing et al.,2008;g—Liu Yingying(未刊);h—Han Runshneg et al.,2014;i—Li Wenbo et al.,2004;j—Jiang Xiaojun et al.,2018; k—Wu Yongtao et al.,2018;l—Bao Guangping et al.,2013;m— Zhou et al.,2015;n—Zhang Changqing,2008;o—Wu Yue et al., 2013;p—Zhou et al.,2013;q—Wu Yue et al.,2013; r—Zhang et al.,2015;s—Zhou et al.,2013; t—Liu Yingying et al.,2013;u— Zhang Yunxin et al.,2014;v—Lin Zhiyong et al.,2010。

体物理化学条件改变是导致富矿热液卸载沉淀的根 本原因(表 8)。铅锌成矿过程中发生的构造-流体 多重耦合作用,受成矿构造体系控制,含矿构造决定 了富矿流体卸载沉淀的空间分布规律。而且,不同 方向、不同级别的控矿构造组成的成矿构造体系,对 成矿系统的储存具有分级控制作用:在滇东北地区, 由于印支期小江、绿汁江深断裂发生左行走滑作用, 派生出 NW-SE 向主压应力构造应力场,在该区形 成8条斜冲走滑-断褶构造带,控制了铅锌矿田的展 布(图 1);就会泽铅锌矿而言,矿山厂、麒麟厂压扭 性断裂是该矿床的主要导矿构造,控制了矿床沿 NE 向展布,导致了矿床均赋存于主断裂带上盘;就矿体 而言,主断裂派生出的 NE 向次级背斜的层间压扭 性断裂,作为容矿构造,控制了主矿体 NE 向延伸、 SE倾斜、SW方向侧伏(成矿期 NE向、SE倾的层 间断裂力学性质为左行压扭,运动学特征为左行斜

Table o	Table 8 Thysicochemical conditions of ofe-forming funds at unferent stages in fluze Fo-Zh deposit, Tunnan									
成矿阶段	均一温度(℃)	盐度 (wtNaCl%)	压力 (10 ⁵ Pa)	成矿深 度(km)	pН	$\log f_{O_2}$	$\log f_{\rm CO_2}$	$\log f_{\rm CO}$	流体类型	
迁移阶段	>364	>4.7			<3.6			_	$Ca^{2+}-Mg^{2+}-Na^{+}-Cl^{-}-$ $HCO_{3}^{-}-CO_{2}-SO_{4}^{2-}$	
I(Py+Fe- Dol+Sp)阶段	173~364 (190~205)	(4.7~22.5) (9~11,20~22)	400~700		3.6~3.7	$-51.5 \sim$ -37.1	−14.1~ 6.6	$-5.8 \sim$ 1.0	Ca ²⁺ - Mg ²⁺ -Cl ⁻ - HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ²⁻	
II(Sp+Gn+Py+ Dol)阶段	152~283 (170-190)	2.8~22.6 (14~18)		1.4~	5.6~5.9	$-51.4 \sim$ -37.3	$-14.6 \sim$ 7.0	$-6.1 \sim$ 7.2	Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Na ⁺ - Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ²⁻	
III(Gn+ Sp+Qtz+ Dol+Cal)阶段	116~251 (145~170)	1.1~18.8 (14~18)		2.5	5.1~5.7	$-50.6 \sim$ -41.6	$-16.1 \sim$ 10.6	−14.3~ 8.5	Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Na ⁺ - Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ²⁻	
IV(Py+Dol+ Cal)阶段	$86 \sim 213$ (130 ~ 150)	$1.1 \sim 14.8$ (1~4)			5.8~5.9	$-50.6 \sim$ -41.6	$-16.1 \sim$ 10.6	$-14.3 \sim$	Na ⁺ -Cl ⁻ - HCO ₂ ⁻ -SO ₄ ²⁻	

表 8 云南会泽铅锌矿床不同阶段流体迁移、卸载阶段的物理化学条件

注:表中括号内数字为峰值。Sp. 闪锌矿, Py. 黄铁矿, Gn. 方铅矿, Dol. 白云石, Fe-Dol. 铁白云石, Cal. 方解石, Qtz. 石英。





Fig. 5 Space-time triangulation map of lead and zinc mineralization in Sichuan, Yunnan and Guizhou triangle area 三角形两侧表示经纬度,底边代表成矿年龄。根据矿床所在位置连 直线与该矿床成矿年龄的法线交点,即为成矿时空三角投点。依据 成矿年龄从大到小依次连接这些投点,即图中三角箭头,则反映了 区域内成矿事件的时空特征。

The two sides of the triangle represent the latitude and longitude, and the base represents the metallogenic age. According to the location of the deposit and the intersection of the normal line with the metallogenic age of the deposit, it is the triangular projection point of metallogenic space-time. These projection points are connected from the largest to the smallest according to the metallogenic age. In other words, the triangular arrow in the figure, which reflects the space-time characteristics of metallogenic events in the region.

冲,因此矿体往 SW 方向侧伏),并在剖面上呈现"陡 宽缓窄"的赋存规律(图 2、3)。因含矿构造几何学 形态的特点,含矿构造力学性质发生从压扭性到张 性扩容空间的临界转换,当含矿热液运移至张性扩 容空间时,导致成矿物理化学平衡条件失稳,促使成 矿物质在含矿构造由陡变缓的转换部位大量沉淀, 使矿体呈现"缓宽陡窄"且延深大的赋存规律(图 2)。成矿构造体系不仅控制了成矿系统储存空间的 几何学特征,而且压扭性构造使成矿流体集中并定向 运移,发生构造-流体多重耦合作用,从而制约热液蚀 变强烈、矿体延深大、矿物组合分带清晰等特征。

结论 5

(1)在印支期造山构造背景下形成的 NE 构造 带(成矿构造体系)约束了会泽铅锌矿床成矿系统的 发生,成矿构造体系为成矿流体提供了运移通道和 驱动力,并控制了成矿流体运移方向。铅锌等成矿 元素"多"的典型特征与成矿流体迁移-聚沉过程中 所经历的岩石性质有关。

(2)斜冲走滑构造作用形成的成矿构造体系是 制约该矿床"富、大、深、强、带"典型特征的主要原 因。成矿构造体系使含矿构造力学性质从压扭性→ 张性扩容空间发生临界转换,并产生构造-流体多重 耦合作用,促使构造物理化学条件的变化,导致富矿 流体卸载沉淀和成矿,进而控制了铅锌矿床的赋存 空间、矿体形态和产状。

References

- Bao Guangping, Cui Yinliang, Gao Jianguo. 2013. REE Geochemical features of hydrothermal calcite from Maozu Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan Province, China. Acta Mieralogica Sinica, (4): 681 ~ 685 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bolin, Cui Linlin, Bai Yanfei, Wang Shixin Chen Zhengle Li Xuezhi, Qi Wanxiu, Liu Rong. 2010. A determining on displacement of the Altun Tagh sinistral strike-slip fault, NW China: New evidence from the tectonic metallogenetic belt in the eastern part of Altun Tagh Mountains. Acta Petrologica Sinica, 26(11): 3387~3396(in Chinese with English abstract).
- Chen Shijie, Cai Jifeng, Wang Zhijing, Qi Huaxiang. 1984. The

significance of biostratigraphic control of Shanshulin Pb-Zn deposit. Geology and Exploration. (11): 16 \sim 19, 24. (in Chinese without English abstract).

- Chen Xuanhua, Chen Zhengle, Yang Nong. 2009. Study on regional mineralizations and ore-field structures: bring on the building of mineralizing tectonic systems. Journal of Geomechanics. 15 (1),1∼15 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. Geology in China, 33(6):1181 ~1196(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhengle, Yang Nong, Wang Pingan, Gong Hongliang, Han Fengbin, Zhou Yonggui, Shao Fei, Tang Xiangsheng, Xu Jinshan, Yu Jianfa. 2011. Analysis of the tectonic stress field in the Xiangshan uranium ore field, Linchuan area, Jiangxi, China. Geological Bulletin of China, 30(4): 514 ~ 531 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Penglin, Xiong Wei, Zhou Gao, He Zhiwei. 2015. A preliminary study on the origins of ore-forming fluids and their migration directions for Pb-Zn deposits in NW Guizhou Province, China. Acta Mieralogica Sinica, (4): 509 ~ 514 (in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Liu Congqiang, Huang Zhilong, Li Yuan, Chen Jin. 2001. Characteristics of ore-controlling structures and REE composition of fault rocks in Huize lead-zinc deposit, Yunnan. Journal of Mineralogy and Petrology, 20(4): 11 ~ 18 (in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Chen Jin, Huang Zhilong, Ma Deyun, Xue Chuandong and Li Yuan. 2006. Tectonic metallogenic dynamics and appreciation of concealed ores——an example of Huize superlarge Zn- Pb (Ag- Ze) deposit in Yunnan Province. Beijing: Science Press, 1 ~ 185 (in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Hu Yizhao, Wang Xuekun, HOU Baohong, Huang Zhilong, Chen Jin. 2012. Mineralization model of rich Ge-Agbearing Zn- Pb polymetallic deposit concentrated district in Northeastern Yunnan, China. Acta Geologica Sinica, 86(2): 280~ 294(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Wang Feng, Hu Yizhao, Wang Xuekun, Ren Tao, Qiu Wenlong, Zhong Kanghui. 2014. Metallogenic tectonic dynamics and chronology constrains on the Huize-type (HZT) germaniumrich Silver- Zinc- Lead deposit. Acta Mineralogica Sinica, 38(4):758~771(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Li Bo, Ni Pei, Qiu Wenlong, Wang Xudong, Wang Tiangang. 2016. Infrared micro-thermometry of fluid inclusion in sphalerite and geological significance of Huize super-large Zn-Pb-(Ge-Ag) deposit. Yunnan province. Journal of Jilin University (Earth Science Editon), 46(1):91~104(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Wu Peng, Wang Feng, Zhou Gaoming, Li Wenyao, Qiu Wenlong. 2019. Four steps type ore-prospecting method for deeply concealed hydrothermal ore deposite-A case study of the Maoping Zn-Pb-(Ag-Ge) deposit in Southwestern China. Geotectonica et Metallogenia. 43(02): 50 ~ 61. (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Pan Guitang, Wang Anjian, Mo Xuanxue, Tian Shihong, Sun Xiaoming, Ding Lin, Wang Erqi, Gao Yongfeng, Xie Yulin, Zeng Pushen, Qin Kezhang, Xu Jifeng, Qu Xiaoming, Yang Zhiming, Yang Zusen. Fei Hongcai, Meng Xiangjin, Li Zhenqing. 2006 a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. mineralization in late-collisional transformation setting. Mineral Deposits, 25(5):521~543(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Song Yucai, Li Zeng, Wang Zaolin, Yang Zhiming, Yang Zhusen, Liu Yingchao, Tian Shihong, He Longqing, Chen Kaixun, Wang Fucun, Zhao Chenxiang, Xue Wanzhang, Lu Haifeng. 2008. Thrust-controlled sediments-hosted Pb-Zn-Ag-Cu deposits in east ern and northern margins of Tibet anorogenic belt: geological features and tectonic model. Mineral Deposits, 27(2):421~441 (in Chinese with English abstract).

- Hu Ruanzhong, Peng Jiantan, Ma Dongshen, Su Wenchao, Shi Chunhua, Bi Xianwu, Tu Guangzhi. 2007. Epoch of large-scale low-temperature mineralizations in southwestern Yangtze massif. Mineral Deposits, 26(6):583~596(in Chinese with English abstract).
- Huang Zhilong. Chen Jin. Han Runsheng, Li Wenbo, Gao Derong, Zhao Deshun, Liu Congqiang. 2001. REE geochemistry of calcite—A gangue mineral in the Huize ore deposits, Yunnan Province. Acta Mineralogica Sinica, 21 (4): 659 ~ 666 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zhilong, Chen Jin, Han Runsheng, Liu Congqiang, Zhang Zhenliang, Ma Deyun, Gao Derong, Yang Hailin. 2004. A preliminary discussion on the genetic relationship between Emeishan basalts and Pb-Zn mineralization: As examplified by the Huize Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China. Acta Mineral. Sinica, 31: 681 \sim 688 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zhilong, Li Wenbo, Chen Jin, Xu Deru, Han Runsheng, Liu Congqiang. 2004. Carbon and oxygen isotope constraints on the mantle fluids join the mineralization of the Huize super-large Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China. Journal of Geochem. E xplor., 78 /79:637~642 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zhilong, Li Wenbo, Zhang Zhenliang, Han Runsheng, Chenjing. 2004. Several problems involved in genetic studies on Huize superlarge Lead -Zinc deposit, Yunnan. Acta Mineralogical Sinica,24(2):105~111 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Xiaojun, Wang Zhongqiang, Li Chao, Guo Zhonglin, Chai Jianhua, Qiu Wenlong, Wang Jiasheng. 2018. Re-Os isotope characteristics of the Huize ultra-large lead-zinc deposit, Northeastern Yunnan Province: constraints on the Himalayan metallogenic dynamic background. Rock and Mineral Analysis, (4):448~461 (in Chinese with English abstract).
- Jin Zhongguo. 2008. Ore-controlling factors, metallogenic rules and prospecting prediction of lead and zinc deposits in northwest Guizhou. Beijing, Metallurgical Industry Press. $8 \sim 1$ (in Chinese without English abstract).
- Kong Zhigang, Wu Yue, Zhang Feng, Zhang Changqing, Meng Xuyang. 2018. Sources of ore-forming material of typical Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou metallogenic: constrains from the S-Pb isotopic compositions. Earth Science Frontier, 25(1):125~137(in Chinese with English abstract).
- Li Bo. 2010. The Study offluid inclusion geochemistry and tectonic geochemistry of Lead-Zinc deposits: taking Huize and Songliang Lead-Zinc deposits for examples, in the Northeast of Yunnan Province, China. Kunming: Kunming University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Li Nan, Xiao Keyan, Sun L. 2018 Part I: A resource estimation based on mineral system modelling prospectivity approaches and analogical analysis: a case study of the MVT Pb-Zn deposits in HuaYuan district, China. Ore Geology Reviews, S0169136817309368.
- Li Wenbo, Huang Zhiong, Wang Yinxi, Chen Jin, Han Runsheng, Xu Cheng, Guan Tao, Yin Mudan. 2004. Age of the giant Huize Zn-Pb deposits determined by Sm-Nd dating of hydrothermalcalcite. Geological Review, 50(2): 189~195 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenbo, Huang Zhilong, Chen Jin. 2004. Rb -Sr dating of mineral assemblage from the Huize giant Zn-Pb deposit, Yunnan Provine. Acta Mineralogica Sinica, 24(2):112~116 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenbo, Huang Zhi-long, Zhang Guan. 2006. Sources of the ore matals of the Huize ore field in Yunnan province: constraints from Pb, S, C, O and Sr isotope geochemistry. Acta Petrologica Sinica, 22 (10): 2567 ~ 2580 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang, PanGuitang, Hou Zengqian. 2010. Ore-forming Thesis of Multi-island-arc-basin-system and collisional orogeny and exploration techniques in Sanjiang region, SW China.

第 10 期

Beijing, Geological Publishing House: $1 \sim 491$ (in Chinese without English abstract).

- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Li Zhengxia. 2001. Zircon U-Pb age and petrochemical characteristics of the Neoproterozoic bimodal volcanics from western Yangtze block. Geochimica. 30(4):315 ~322(in Chinese without English abstract).
- Li ZhenLi, Ye Lin, Huang Zhilong, Zhou Jiaxi, Hu Yusi, Nian Hongliang. 2018. Mineralogical characteristics and geological significance of copper minerals in fule Pb-Zn deposit, Yunnan province, china. Geological Journal of China Universities, (24):200~209 (in Chinese with English abstract).
- Liao Wen. 1984. Mineralization model and the characters of isotope composition of S and Pb in the east and west Yunnan Province, China: Geology and Prospecting, 1: 1 ~ 6 (in Chinese with English abstract).
- Lin Zhiyong, Wang Denghong, Zhang Changqing. 2010. Rb-Sr isotopic age of sphalerite from the Paoma lead -zinc deposit in Sichuan Province and its implications. Geology in China, 37 (2):488~494 (in Chinese with English abstract).
- Liu Feng. 2005. The Metallogenetic mechanism of the Huize Lead-Zinc Ore deposit and the occurrence of germanium, Yunnan, China. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Liu Fuhui. 1984. A preliminary study on the block-faulting charcteristice of Pan-Xi region, Sichuan, China. Journal of Chengdu University of Technology. (02):36~46. (in Chinese with English abstract).
- Liu Yingchao. 2012. Characteristics and metallogenic genesis of the carbon ate-hosted lea-zinc deposits in the middle part of Sanjiang area, Ti betan plateau. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- Liu Yingying, Qiliang, Huang Zhilong, Zhou Jiaxi. 2015. Re-Os dating of galena and sphalerite from lead- zinc sulfide deposits in Yunnan Province, SW China. Journal of Earth Science, 26(3): 343~351(in Chinese with English abstract).
- Liu Hechang, Lin Wenda. 1999. Study on metallogenetic laws of Leadzinc-silver deposits in Northeastern Yunnan. Kunming: Publishing House of Yunnan University, 1 ~ 419 (in Chinese without English abstract).
- Ma Li, ChenHuanjiang, Gan Kewen. 2004. Tectonic and marine petroleum geology in southern China. Beijing, Geological Publishing House (in Chinese without English abstract).
- Ran Chongying. 2017. Ore-forming material sources and Sedimentary-Reworked metallization of Huize super-large Lead-Zinc deposits in Northeastern Yunnan, China. Geological journal of China Universities. (23): 574 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jiacong, Han Runsheng. 2016. Theory and method of geomechanics in ore field. Beijing. Science Press. $8 \sim 40$ (in Chinese without English abstract).
- Wang Baolu, Li Lihui, Zen Pusheng. 2004. Basic geophysic charactristica of Sichuan-Yunnan-Guizhou rhombic block and its relationship with Endo-mineralization. Journal of east china institute of technology. $(04): 4 \sim 11$ (in Chinese with English abstract).
- Wang Jian, Zhang Jun, Zhong Wenbin, Yang Qing, Li Fake, Zhu Zhengkun. 2018. Sources of ore-forming fluids from Tianbaoshan and Huize Pb-Zn deposits in Yunnan-Sichuan-Guizhou region, Southwest Chian: Evidence from fluid inclusions and He-Ar isotopes. Earth Science. v. 43(06):264~ 287(in Chinese with English abstract).
- Wang Jingbing, Xu Xin. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 80(1):23~31(in Chinese with English abstract).
- Wang Lei, Han Runsheng, Zhang Yan, Wang Jiasheng. 2016. Sulfur isotopic geochemistry of the Huize Pb-Zn ore field in Yunnan Province. Bulletin of mineralogy, Petrology and Geochemistry, 35(6): 1248 ~ 1257 (in Chinese with English abstract).

- Wu Genyao. 2001. Rejuvenation of fossil deep fractures and related Yanshannian intracontinental oregenice: examples from south Sichuan-east Yunan and middle Yangtze areas. Geotectonic et Metallogenia. 25 (3): 246 ~ 253. (in Chinese with English abstract).
- Wu Yue. 2013. The age and ore-forming process of MVT deposits in the boundary area of Sichuan-Yunnan-Guizhou province, southwest china. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, $1 \sim 167$ (in Chinese with English abstract).
- Wu Yudong, Wang Zongqi, Luo Jinhai, Chen Jiaxiao, Zhang Yinli, Wang Shidi. 2016. Geochemical characteristics and metallogenic mechanism analysis of Huodehong Lead-Zinc deposit, northeast Yunnan Province. Mineral Deposits. 35(5):1084 ~ 1098(in Chinese with English abstract).
- Ye Tianzhu Xue Jianling. 2007. Geological study in search of metallic ore deposits at depth. Geology in China. 34(5):855~ 869 (in Chinese with English abstract).
- Yin An, Harrison T M. 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28:211~280.
- Zhai Yusheng. 1999. On the metallogenic system. Earth Science Frontiers, 6(1):13~27 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng and Lv GX. 2002. Transition of tectonic and dynamic regime and mineralization. Acta Geoscientica Sinica, 23(2): 97 ~ 102 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng. 2006. Innovative research on mineral deposit geology. Earth Science Frontiers, 13(3): $1 \sim 7$ (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng. 2014. A discussion on the basic ore genesis model. Earth Science Frontiers,21(1): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Feng. 2017. Study on ore genesis of the Tianbaoshan Pb-Zn deposit and the regional metallogenetic geodynamical setting. Master Dissertation. Beijing: China University of Geoscience (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yan. 2016. Fluid mixing metallogenic mechanism of Huize superlarge Lead-Zinc Deposits in Northeast of Yunnan polymetallic mineralization domain. dissertation for Doctor degree. Kunming: Kunming University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yan, Han Runsheng, Pingtang Wei, Wang Lei. 2017. Identification of two types of metallogenic fluids in the ultra-Large Huize Pb-Zn Deposit, SW China. Geofluids, 2017:1~22.
- Zhang Yan, Han Runsheng, Ding Xing, Wang Yurong, Wei Pingtang. 2019. Experimental study on fluid migration mechanism related to Pn-Zn superenrichment: Implications for mineralization mechanisms of the Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou, SW China. Ore Geology Reviews. 114: 103 ~110.
- Zhang Yunxin, Wu Yue, Tian Guang. 2014. Mineralization age and source of ore-forming material at Lehong Pb-Zn Deposit, Yunnan Province: Constraints from Rb-Sr and S isotopes system. Acta Mineralogica Sinica, 34(3): 305~311(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changqing. 2008. The genetic model of Mississippi Valleytype deposits in the boundary area of Sichuan, Yunnan and Guizhou provinces, China (dissertation for Doctor degree). Supervisor: Mao J W and Yu J J. Beijing: Chinese Academy of geological Sciences. 1~165(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changqing, Wu Yue, Hou Lin, Mao JingWen. 2015. Geodynamic setting of mineralization of Mississippi Valley-type deposits in world-class Sichuan-Yunnan-Guizhou Zn-Pb triangle, southwest China; Implications from age-dating studies in the past decade and the Sm-Nd age of Jinshachang deposit. Journal of Asian Earth Sciences, 103:103~114.
- Zhang Zhengliang. 2006. Featureand sources of ore-forming fluid in the Huize lead- zine ore deposits, Yunnan Province, China: evidence from fluid inclusions and water- rock reaction

experiments. Chinese acdaemy of sciences and for the diploma of the institute of geoehemisty (in Chinese with English abstract).

- Zhang Zhibin, Li Chaoyang, Tu Guangzhi, Xia Bin Wei Zhenquan. 2006. Geotectonic evolution back ground and ore-froming process of Pb-Zn deposits in Chuan-Dian-Qian area of south weat China. Geotectonica et Metallogenia, 30(3): 343~354 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Chaoxian. 1998. The source of mineralizing metals, geochenmical characterization of ore- forming solution, and metallogenetic mechanism of Qilingchang Pb-Zn deposit, northeastern Yunnan Province, China. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 17(1): 34~36(in Chinese with English abstract).
- Zhou Jiaxi, Huang Zhilong, Lv Zhilong, Zhu Xiangkun, Gao Jianguo, Hassan Mirnejad. 2013. The origin of the Maozu carbonate-hosted Pb-Zn deposit, southwest China: constrained by C-O-S-Pb isotopic compositions and Sm-Nd isotopic age. Journal of Asian Earth Sciences, 73:39~47.
- Zhou Jiaxi, Huang Zhilong, Zhou Meifu, Li Xiaobiao, Jin Zhongguo. 2013. Constraints of C-O-S-Pb isotope compositions and Rb-Sr isotopic age on the origin of the Tianqiao carbonatehosted Pb-Zn deposit, SW China. Ore Geology Reviews, 53 (Complete):77~92.
- Zhou Jiaxi, Bai Junhao, Huang Zhilong. 2015. Geology, isotope geochemistry and geochronology of the Jinshachang carbonatehosted Pb-Zn deposit, southwest China. Journal of Asian Earth Sciences, 98:272~284.

参考文献

- 包广萍,崔银亮,高建国. 2013. 滇东北茂租铅锌矿床热液方解石 稀土元素地球化学特征. 矿物学报,(4):681~685.
- 陈柏林,崔玲玲,白彦飞,王世新,陈正乐,李学智,祁万修,刘荣. 2010. 阿尔金断裂走滑位移的确定——来自阿尔金山东段构造 成矿带的新证据. 岩石学报,26(11):3387~3396.
- 陈士杰,蔡继锋,王志经,齐向华.1984.生物地层相对杉树林铅锌 矿床的控矿意义.地质与勘探,(11):18~21+26.
- 陈宣华,陈正乐,杨农. 2009. 区域成矿与矿田构造研究——构建 成矿构造体系. 地质力学学报,15(1):1~19.
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力. 中国地质, 33 (6):1181~1196.
- 陈正乐,杨农,王平安,宫红良,韩凤彬,周永贵,邵飞,唐湘生, 徐金山,喻建发. 2011. 江西临川地区相山铀矿田构造应力场 分析.地质通报,30(4):514~531.
- 程鹏林,熊伟,周高,何志威. 2015. 黔西北地区铅锌矿床成矿流体 起源与运移方向初探. 矿物学报,(4):509~514.
- 韩润生,刘丛强,黄智龙,陈进,马德云,李元. 2001. 论云南会泽 富铅锌矿床成矿模式.矿物学报,21(4):674~680.
- 韩润生. 2006. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测:以云南会泽超 大型铅锌(银、锗)矿床为例. 科学出版社.
- 韩润生,胡煜昭,王学琨,黄智龙,陈进,王峰,吴鹏,李波,王洪 江,董英,雷丽. 2012. 滇东北富锗银铅锌多金属矿集区矿床 模型. 地质学报,86(2):280~294.
- 韩润生,王峰,胡煜昭,王学焜,任涛,邱文龙,钟康惠. 2014. 会 泽型(HZT)富锗银铅锌矿床成矿构造动力学研究及年代学约 束.大地构造与成矿学,38(4):758~771.
- 韩润生,李波,倪培,邱文龙,王旭东,王天刚. 2016. 闪锌矿流体 包裹体显微红外测温及其矿床成因意义——以云南会泽超大 型富锗银铅锌矿床为例. 吉林大学学报(地),46(1):91~104.
- 韩润生,吴鹏,王峰,周高明,李文尧,邱文龙. 2019. 论热液矿床 深部大比例尺"四步式"找矿方法——以川滇黔接壤区毛坪富 锗铅锌矿为例.大地构造与成矿学,43(02):50-61.
- 侯增谦,潘桂棠,王安建,莫宣学,田世洪,孙晓明,丁林,王二七, 高永丰,谢玉玲,曾普胜,秦克章,许继峰,曲晓明,杨志明, 杨竹森,费红彩,孟祥金,李振清. 2006. 青藏高原碰撞造山 带:Ⅱ.晚碰撞转换成矿作用. 矿床地质,25(5):521~543.

- 侯增谦,宋玉财,李政,王召林,杨志明,杨竹森,刘英超,田世洪, 何龙清,陈开旭,王富春,赵呈祥,薛万文,鲁海峰. 2008. 青 藏高原碰撞造山带 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床新类型:成矿基本特征与 构造控矿模型.期刊,27(2):123~144.
- 胡瑞忠,彭建堂,马东升,苏文超,施春华,毕献武,涂光炽.2007. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代.矿床地质,26(6):583 ~596
- 黄智龙,陈进,韩润生,李文博,高德荣,赵德顺,刘丛强. 2001. 云南会泽铅锌矿床脉石矿物方解石 REE 地球化学.矿物学报, 21(4):659~666.
- 黄智龙, 陈进, 韩润生, 李文博, 刘丛强, 张振亮, 马德云, 高德荣, 杨海林. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因—— 兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系.北京: 地质出版社:77 ~118.
- 黄智龙,李文博,陈进,许德如,韩润生,刘丛强.2004.云南会泽 超大型铅锌矿床 C、O 同位素地球化学.大地构造与成矿学,28 (1):53~59.
- 黄智龙,李文博,张振亮,韩润生,陈进.2004.云南会泽超大型铅 锌矿床成因研究中的几个问题.矿物学报,24(2):105~111.
- 江小均, 王忠强, 李超, 郭忠林, 柴建华, 邱文龙, 王加昇. 2018. 滇东北会泽超大型铅锌矿 Re-Os 同位素特征及喜山期成矿作 用动力学背景探讨. 岩矿测试, (4):448~461.
- 金中国. 2008. 黔西北地区铅锌矿控矿因素、成矿规律与找矿预测. 北京,冶金工业出版社.
- 孔志岗,吴越,张锋,张长青,孟旭阳.2018. 川滇黔地区典型铅锌 矿床成矿物质来源分析:来自 S-Pb 同位素证据.地学前缘,25 (1):125~137.
- 李波. 2010. 滇东北地区会泽、松梁铅锌矿床流体地球化学与构造 地球化学研究. 昆明理工大学.
- 李文博,黄智龙,陈进,韩润生,张振亮,许成. 2004. 会泽超大型 铅锌矿床成矿时代研究. 矿物学报,24(2):112~116.
- 李文博, 黄智龙, 王银喜, 陈进, 韩润生, 许成, 管涛, 尹牡丹. 2004. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地 质意义. 地质论评, 50(2):189~195.
- 李文博, 黄智龙, 张冠. 2006. 云南会泽铅锌矿田成矿物质来源: Pb、S、C、H、O、Sr 同位素制约. 岩石学报, 22(10):2567 ~2580.
- 李文昌. 2010. 西南"三江"多岛弧盆碰撞造山成矿理论与勘查技 术. 西南"三江"多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术. 地质 出版社.
- 李献华,周汉文,李正祥,刘颖,P Kinny. 2001. 扬子块体西缘新 元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石化学特征. 地球 化学,30(4):315~322.
- 李珍立,叶霖,黄智龙,周家喜,胡宇思,念红良.2018. 云南富乐 铅锌矿床中铜矿物的矿物学特征及地质意义. 高校地质学报, (24):200~209.
- 廖文. 1984. 滇东、黔西铅锌金属区硫、铅同位素组成特征与成矿模 式探讨. 地质与勘探,(1):2~8.
- 蔺志永,王登红,张长青.2010.四川宁南跑马铅锌矿床的成矿时 代及其地质意义.中国地质,37(2):488~494.
- 刘峰. 2005. 云南会泽大型铅锌矿床成矿机制及锗的赋存状态. 中国地质科学院.
- 刘福辉. 1984. 攀西地区断块构造特征的初步探讨. 成都地质学报, (02):36~46.
- 刘英超. 2012. 青藏高原三江中段碳酸盐岩容矿铅锌矿床成矿特征 与成因研究.中国地质科学院.
- 刘莹莹,漆亮,黄智龙,周家喜,朱传威,黄小文,王怡昌,吕串. 2013. 滇东北富乐铅锌矿床硫化物 Re-Os 同位素年龄及其地质 意义.矿物学报,(S2):617~618.
- 柳贺昌,林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究. 云南大学出版社.
- 马力,陈焕疆,甘克文. 2004.中国南方大地构造和海相油气地质. 北京:地质出版社,5~113.
- 冉崇英. 2017. 滇东北会泽超大型铅锌矿床矿质来源与改造成矿作 用. 高校地质学报,(23):574.

- 孙家骢,韩润生. 2016. 矿田地质力学理论与方法. 科学出版社.
- 王宝禄,李丽辉,曾普胜.2004. 川滇黔菱形地块地球物理基本特 征及其与内生成矿作用的关系. 东华理工学院学报(04):4 ~11.
- 王健,张均,仲文斌,杨清,李发科,朱政坤. 2018. 川滇黔地区天 宝山、会泽铅锌矿床成矿流体来源初探:来自流体包裹体及氦 氩同位素的证据. 地球科学,v. 43(06):264~287.
- 王京彬,徐新.2006.新疆北部后碰撞构造演化与成矿.地质学报, 80(1):23~31.
- 王磊,韩润生,张艳,王加昇.2016. 云南会泽铅锌矿田硫同位素研 究.矿物岩石地球化学通报,35(6):1248~1257.
- 吴根耀. 2001. 古深断裂活化与燕山期陆内造山运动——以川南— 滇东和中扬子褶皱-冲断系为例. 大地构造与成矿学, 25(3): 246~253.
- 吴越. 2013. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床大规模成矿作用的时代与 机制. 中国地质大学(北京).
- 武昱东,王宗起,罗金海,程家孝,张英利,王师迪. 2016. 滇东北 火德红铅锌矿床地球化学特征与成矿机制分析. 矿床地质,35 (5):1084~1098.
- 叶天竺,薛建玲. 2007. 金属矿床深部找矿中的地质研究.中国地质,34(5):855~869.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统. 地学前缘, (1):13-27.

- 翟裕生, 吕古贤. 2002. 构造动力体制转换与成矿作用. 地球学报, 23(2):97~102.
- 翟裕生. 2006. 关于矿床学创新问题的探讨. 地学前缘, 13(3):1 ~7.
- 翟裕生. 2014. 试论矿床成因的基本模型. 地学前缘, 21(1):1~8.
- 张锋. 2017.四川天宝山铅锌矿床成因研究及区域成矿动力学背景 探讨.中国地质大学(北京).
- 张艳. 2016. 滇东北矿集区会泽超大型铅锌矿床流体混合成矿机制. 昆明理工大学.
- 张云新,吴越,田广,申亮,周云满,董文伟,曾荣,杨兴潮,张长 青. 2014. 云南乐红铅锌矿床成矿时代与成矿物质来源:Rb-Sr 和S同位素制约. 矿物学报,34(3):305~311.
- 张长青. 2008. 中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅锌矿床成 矿模型. 中国地质科学院.
- 张振亮. 2006. 云南会泽铅锌矿床成矿流体性质和来源. 中国科学院地球化学研究所.
- 张志斌,李朝阳,涂光炽,夏斌,韦振权.2006.川、滇、黔接壤地区 铅锌矿床产出的大地构造演化背景及成矿作用.大地构造与成 矿学,30(3);343~354.
- 周朝宪. 1996. 滇东北麒麟厂锌铅矿床成矿金属来源、成矿流体特 征和成矿机理研究. 中国科学院地球化学研究所.

The control effect of metallotectonic system on lead-zinc metallogenic system: a case study of the Huize deposit, Yunnan Province

WANG Mingzhi^{1,2)}, HAN Runsheng^{*1,2)}, ZHANG YAN^{*1,2)}

1) Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093;

2) Southwest Geological Survey, Geological Survey Center for Non-ferrous Mineral Resources, Kunming, 650093

* Corresponding author: 554670042@qq.com; 78598874@qq.com

Abstract

The super-large Huize lead-zinc deposit is located in the Sichuan-Yunnan-Guizhou Triangle area (SYGT). This paper considers the theory of metallogenic system "source, transport, storage, transformation and preservation" as the main line of research, analyzes the control effect of orogenic background on lead-zinc metallogenic system, and discusses the relationship between metallogenic tectonic system and metallogenic system, and collects the main achievements and progress of previous researches in recent years. The study shows that, constrained by the Indosinian orogenic background, oblique thrust tectonics occurred in the area, forming the metallotectonic system of the NE tectonic belt, which provided the "transport" and "storage" conditions for the lead-zinc metallogenic system. The tectonic-driven oreforming fluid migrated in large scale along the Kuangshanchang and Qilinchang fault-fold belt. Subsequently, water-rock interaction of the ore-forming fluid occurred with the carbonate rocks in the cover. Similar structural fluid multiple coupling actions included deep fluid mixing with basin fluid, fluid immiscibilityetal, which changes the physical and chemical conditions of the ore-forming fluid. This resulted in the unloading and precipitation of ore-forming fluid along the interbedded compresso wrench fault, forming the ore body trending NE, striking SE and pitching SW. Studies suggest that compresso wrench fault is the key factor controlling the ore deposit "rich (high grade), large (reserve), deep (extended depth), strong (alteration), high (temperature) and zone (good zonation) "characteristics, and "many (associated elements)" is related to the properties of rocks passed by ore-forming fluids during their migration. This study has important theoretical significance and guiding function for deep exploration of similar deposits.

Key words: Indosinian orogenic mineralization; metallotectonic system; metallogenic system; Huize lead-zinc deposit; Sichuan Yunnanguizhou mining areas