

doi: 10.12029/gc20170208

李孜腾, 韩润生, 闫庆文. 2017. 会泽超大型富锗银铅锌矿床矿化-蚀变分带规律及构造的控制作用[J]. 中国地质, 44(2): 316-330.

Li Ziteng, Han Runsheng, Yan Qingwen. 2017. Mineralization-alteration zoning regularity and structural ore-controlling role in the Huize super-large sized Ge-Ag-rich Pb-Zn deposit, Yunnan Province[J]. Geology in China, 44(2): 316-330(in Chinese with English abstract).

## 会泽超大型富锗银铅锌矿床矿化-蚀变分带规律 及构造的控制作用

李孜腾<sup>1</sup> 韩润生<sup>1</sup> 闫庆文<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 有色金属矿产地地质调查中心西南地质调查所, 云南 昆明 650093;

2. 云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655011)

**摘要:** 会泽超大型富锗银铅锌矿床是川—滇—黔铅锌多金属成矿区滇东北矿集区的典型代表。基于大量的地表调研和坑道精细编录, 通过赋矿白云岩的岩石学、地球化学与矿化蚀变分带规律、构造对矿化-蚀变带控制作用的研究, 认为赋矿粗晶白云岩是成矿过程中白云石化的产物, 具有典型的热液蚀变成因, 与沉积-成岩成因的摆佐组细晶白云岩、白云质灰岩明显不同; 根据矿石和蚀变围岩中铅锌矿物组成与矿化、蚀变程度及其分布特征, 该矿床矿化-蚀变分带规律: 从矿体到围岩依次为铅锌矿石—铅锌矿化黄铁矿带→铅锌矿化/黄铁矿化粗晶白云岩带→灰白色粗晶白云岩带、米黄色粗晶白云岩带、肉红色粗晶白云岩带、网脉状白云石化灰岩带(蚀变残留体)、弱白云石化灰岩带。矿化-蚀变带明显受冲断褶皱构造(矿山厂、麒麟厂、银厂坡斜冲断层及其派生褶皱)上盘的层间断裂带控制, 形成了典型的“成矿构造-蚀变白云岩-铅锌矿体”的矿化结构。该认识不仅丰富了会泽型(HZT)铅锌矿床成矿理论, 而且对指导滇东北铅锌矿集区, 乃至川滇黔成矿区的资源危机矿山的综合地质研究与找矿勘查具有重要的现实意义。

**关键词:** 矿化-蚀变分带规律; 构造-蚀变-成矿; 热液蚀变粗晶白云岩; HZT 型铅锌矿床; 会泽超大型富锗银铅锌矿床

中图分类号: P618.42; P618.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)02-0316-15

## Mineralization-alteration zoning regularity and structural ore-controlling role in the Huize super-large sized Ge-Ag-rich Pb-Zn deposit, Yunnan Province

LI Ziteng<sup>1</sup>, HAN Runsheng<sup>1</sup>, YAN Qingwen<sup>2</sup>

(1. Faculty of Land Resources Engineering / Southwest Institute of Geological Survey, Geological Survey Center for Nonferrous Metals Resources, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Yunnan Chihong Zn & Ge Co., Ltd., Qujing 655011, Yunnan, China)

收稿日期: 2016-02-14; 改回日期: 2016-04-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41572060、U1133602); 云岭学者项目(2014); 国家危机矿山矿床成矿规律研究专项(20089943); 云南省矿产资源预测与评价工程实验室(2012), 云南省、昆明理工大学创新团队项目联合资助。

作者简介: 李孜腾, 男, 1991年生, 硕士生, 研究方向: 构造地质学; E-mail: 932753432@qq.com。

通讯作者: 韩润生, 男, 1964年生, 研究员, 博士生导师, 矿床学与隐伏矿预测研究方向; E-mail: 554670042@qq.com。

**Abstract:** The Huize super-large sized Ge-Ag-rich Zn-Pb deposit is a typical deposit in the Sichuan-Yunnan-Guizhou lead-zinc polymetallic ore-forming area. On the basis of enormous field survey and tunnel measurements and through studies of petrology and geochemistry of ore-bearing dolomite, the authors investigated zonation regularity of mineralization and alteration and structural ore-controlling role, and the results show that ore-bearing dolomite was formed by dolomitization in the ore-forming process, characterized genetically by typical hydrothermal alteration. Its genetic type differs from that of fine-grained dolomite and dolomitic limestone in the Baizuo Formation. According to the mineral compositions of ores and altered wall rocks, the degree of mineralization and alteration and the distribution characteristics, the zoning regularity of mineralization and alteration has been revealed: from the orebody to the wall rock, there exists the zoning of Zn-Pb ores and Zn-Pb mineralized pyrite zone→Zn-Pb and pyrite-mineralized coarse-grained dolomite zone→gray coarse-grained dolomite zone, beige coarse-grained dolomite zone, flesh red coarse-grained dolomite zone, net veined dolomitized limestone zone, and weakly dolomitized limestone zone. Mineralization and alteration zoning is obviously controlled by interlayer faults on the upper wall of the thrust-fold structures (Kuangshanchang, Qilingchang, Yinchangpo oblique faults and its derivatives folds). On such a basis, the mineralization structure of ore-forming structure, altered dolomite and Zn-Pb orebody has been established. The results obtained by the authors not only enrich the metallogenic theory of the HZT-type Zn-Pb deposits but also have important practical significance for comprehensive geological study of the resources crisis mines in the northeastern Yunnan ore concentration area and the Sichuan-Yunnan-Guizhou metallogenic area.

**Key words:** zoning regularity of mineralization and alteration; structure-alteration-mineralization; altered coarse-grained dolomites; Huize-type (HZT) Zn-Pb deposit; Huize super-large sized Ge-Ag-rich Zn-Pb deposit

**About the first author:** LI Ziteng, male, born in 1991, master candidate, majors in structural geology; E-mail: 932753432@qq.com.

**About the corresponding author:** HAN Runsheng, male, born in 1964, professor, supervisor of doctor candidates, mainly engages in the study of deposit geology and concealed deposit prognosis; E-mail: 554670042@qq.com.

**Fund support:** Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41572060, U1133602), Yunling Scholars Program (2014), Projects for Yunnan Engineering Laboratory of Mineral Resources Prediction and Evaluation (YM Lab) (2012), Special Exploration Program for National Crisis Mines (No. 20089943), Projects of Innovation Team for Geological Processes and Mineral Resources of Yunnan Province (2012), Innovation Team of Metallogenic Dynamics and Concealed Deposit Prediction of KMUST.

## 1 引言

滇东北铅锌多金属矿集区是中国重要的铅、锌、锗产地之一及中国第四大铅锌基地的主体组成部分。该区蕴藏着220多个铅锌多金属矿床(点)和矿化点,其中超大型矿床2个、大型矿床5个、中小型21个。前人主要从成矿时代、构造控矿特征、成矿流体来源、矿床成因、矿床成矿模型及找矿预测等方面开展了研究工作,取得了重要成果(陈士杰, 1986; 陈进, 1993; 韩润生等, 2000, 2001, 2006, 2012, 2014; 廖文, 1984; 赵准, 1995; 文德潇等, 2014; Han et al., 2012, 2014)。但是,截至目前,关于矿床成因尚存在争议:20世纪早期,谢家荣认为矿床与峨眉山玄武岩空间关系密切,提出岩浆热液成因(谢家荣, 1941),但近年来,通过对峨眉山玄武岩地幔热柱的研究(杨巍等, 2014; 罗照华等, 2014; 吴鹏等, 2014),结合该区成矿流体分析,多数学者认为

二者并无明显成因联系(韩润生, 2006; 韩润生等, 2012, 2014);20世纪晚期,部分学者认为成矿与同时代海盆具有相似的地球化学条件有关,它控制了铅、锌硫化物及重晶石、黄铁矿等矿物的沉淀,而褶皱、断裂与成矿无明显的联系(张位及, 1984; 陈士杰, 1986),更多学者认为这些铅锌矿床成因类型属“沉积-改造”型,认为矿源层在构造的改造作用下含矿热(卤)水热液沉淀富集成矿(廖文, 1984; 陈进, 1993; 赵准, 1995)。近年来,对于该区铅锌矿床成因争论主要集中于2种观点:一是矿床属MVT型(Zhou C, 2001; 张长青, 2008),认为成矿流体具有大气降水与变质水混合的特征(张长青等, 2007; 袁波等, 2014);二是会泽型(HZT)(韩润生, 2006; 韩润生等, 2007; 2012, 2014)。韩润生等通过与MVT型铅锌矿床的对比研究,认为该类矿床严格受压扭性构造控制,蚀变发育且广泛,总结出“富、大、多、深、强、高、带”的典型特征(韩润生等, 2014)。尽管文德

潇、韩润生认为该类白云岩是热液蚀变产物(文德潇等, 2014), 且张长青认为该矿床明显受地层与构造的双重控制(张长青等, 2013), 但前人对矿化蚀变分带规律及其成矿构造的控制作用几乎无人问津。故本文通过会泽超大型富锗铅锌矿床矿田构造学、蚀变岩相学等方面的解剖研究, 旨在探究矿区发育典型的蚀变岩——粗晶(铁)白云岩的成因, 并在此基础上, 精细刻画矿石、蚀变白云岩的分布与成矿构造的空间关系, 总结矿化-蚀变分带规律, 揭示“成矿构造-蚀变白云岩-铅锌矿体”的矿化结构及其受构造的控制作用。

## 2 区域地质及矿床地质

### 2.1 区域成矿背景

滇东北铅锌多金属矿集区位于扬子地块西南缘, 滇黔桂晚古生代—早中生代陆缘沉降带(刘训等, 2015), 小江深断裂带以东, 昭通—曲靖隐伏深断裂带以西的北东构造带、南北构造带及北西向紫云—垭都构造带的构造复合部位。小江断裂与昭通—曲靖隐伏断裂作为川滇南北构造带东缘的深断裂体系, 控制着滇东北地区的沉积建造、岩浆活动、构造演化及岩相古地理特征。矿集区中北段的金牛厂—矿山厂构造带、会泽—彝良构造带、鲁甸—大关构造带、茂租—金沙厂构造带(图1), 它们与伴生的NW向张(扭)性断裂一起形成“多字型”构造, 控制着本区铅锌矿床的分布(韩润生等, 2012)。

该区所处的构造部位决定了滇东北矿集区经历了多期多阶段的热事件和构造变形作用: 研究区及邻区主要经受晋宁期、澄江期、加里东期、印支期、燕山期和喜山期构造活动的影响, 但澄江期、加里东期构造运动在该区表现为假整合接触关系, 而印支期—燕山早期陆内褶皱造山作用形成冲断褶皱构造, 以及区域性的角度不整合—假整合接触关系(图1)。燕山中晚期—喜山期印度板块和欧亚板块发生碰撞, 导致一系列左行走滑作用, 进一步发生褶皱、断裂活动, 基本造就了现今的地质构造格局。

### 2.2 矿床地质简述

会泽富锗银铅锌矿床位于滇东北拗陷盆地南部北东向矿山厂—金牛厂断裂带北段。该区地层主要由太古宇—中元古界的结晶基底、新元古界的

褶皱基底与下震旦统海相不连续沉积盖层和上震旦统一上古生界的连续沉积盖层构成“两层式”结构(韩润生等, 2000)。主要发育上震旦统灯影组、下寒武统筇竹寺组、中—上泥盆统、石炭系及二叠系。研究认为, 下石炭统摆佐组主要由细晶白云岩、灰质白云岩组成, 其蚀变的粗晶白云岩是矿床的主要赋矿地层, 宰格组中上部及灯影组局部可见零星矿化体。矿床主要的导矿构造为矿山厂、麒麟厂、银厂坡3条斜冲断裂。二叠系峨眉山玄武岩是矿区出露的主要岩浆岩(图2)。

矿体与近矿蚀变粗晶白云岩共同出现, 二者主要呈似层状、囊状、透镜状、脉状分布于层间断裂内。矿体延深明显大于走向长度, 尖灭或膨缩现象常见, 且从浅部到深部, 矿体增厚, 品位变富。矿石主要呈致密块状, 品位特高(Pb+Zn: 25%~35%, 最高达60%), 矿石主要由闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和方解石组成, 未见同生沉积成因的残留组构标志(层状、条纹状及其他同生组构等)(韩润生等, 2001)。矿石中Ag和分散元素Ge、Ga、Cd富集, 可独立圈定矿体。热液蚀变除白云石化较广泛外, 可见黄铁矿化、硅化等热液蚀变, 蚀变分带明显。

## 3 粗晶白云岩之成因

川滇黔地区铅锌矿的赋矿岩石主要为震旦系—二叠系碳酸盐岩。围岩岩相研究对矿床找矿模型建立至关重要(裴荣富等, 2013), 近70%的铅锌矿床产于白云岩或白云岩化的灰岩中(韩润生, 2006)。前人关于白云岩的成因, 曾提出过多种模式: 蒸发泵模式(Hsü et al., 2006)、毛细管浓缩作用(Warren, 1990)、混合白云岩作用、渗透回流白云石化作用(Adams et al., 1960)、埋藏白云石化作用(Hardie, 1991; Middleton et al., 1993)、细菌白云石化作用(Warren, 2000)等。近年来, 有学者通过岩石学、地球化学等方法对该矿床赋矿白云岩成因的研究, 主要提出2种成因观点: 一是构造—热液蚀变成因(文德潇等, 2014), 二是埋藏成因(马宏杰等, 2014)。笔者通过野外调查, 结合地球化学分析, 综合研究认为该类白云岩具有典型的热液蚀变特征, 而非埋藏成因。

### 3.1 粗晶白云岩产状与岩石学特征

摆佐组(C<sub>1b</sub>)为会泽富锗银铅锌矿床的主要赋

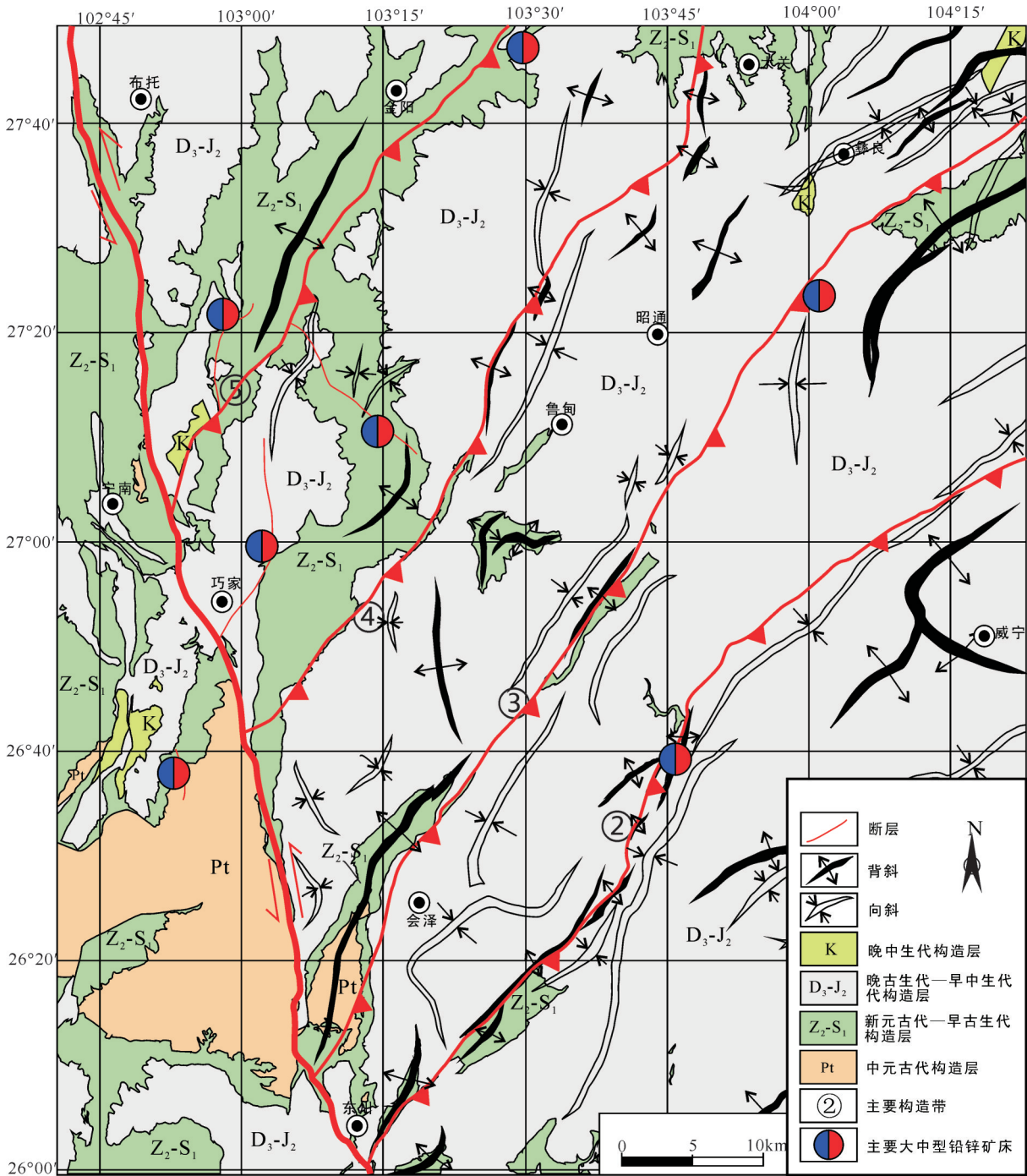


图1 滇东北铅锌多金属矿集区北段铅锌矿床(点)分布与构造纲要图

①—小江断裂带;②—东川—镇雄构造带;③—会泽—牛街构造带;④—鲁甸—盐津构造带;⑤—永善—绥江构造带

Fig. 1 The distribution of Zn-Pb deposits and the structural outline of lead-zinc polymetallic ore concentration areas in northeastern Yunnan

①—Xiaojiang fault zone;②—Dongchuan-Zhenxiong tectonic belt; ③—Huize-Niujie tectonic belt; ④—Ludian-Yanjin tectonic belt; ⑤—Yongshan-Suijiang tectonic belt

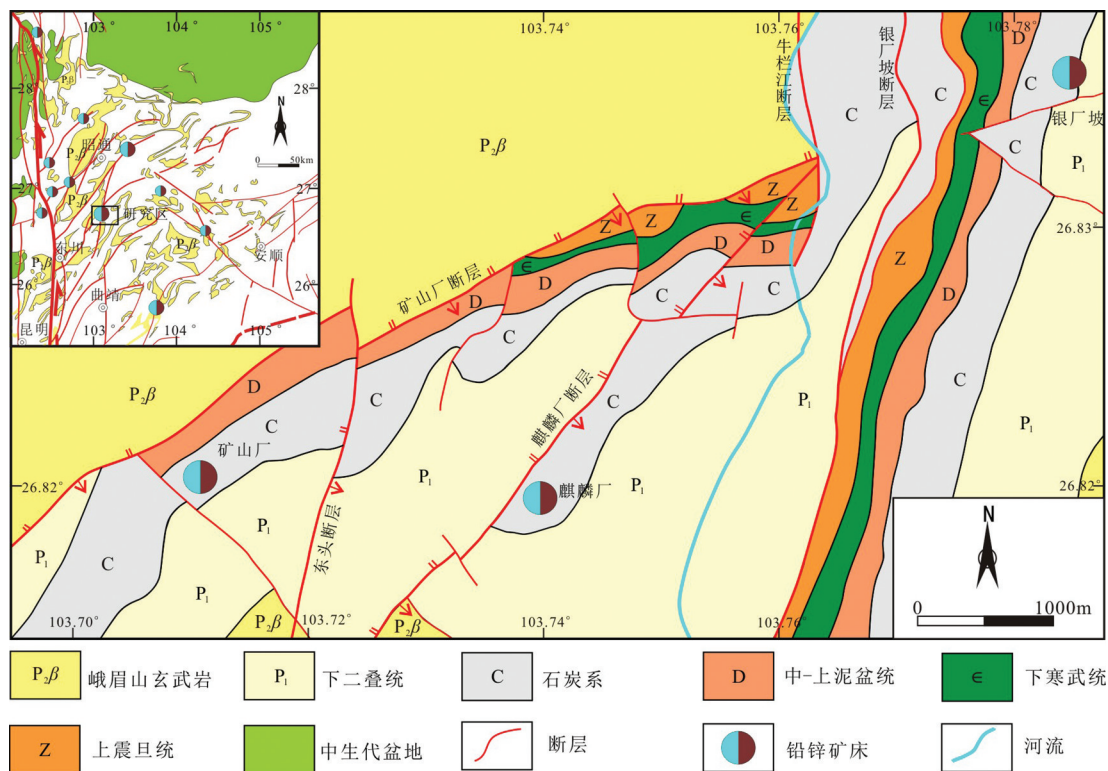


图2 会泽富锗银铅锌矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

矿层位,其中上部为脉状、似层状的灰白色、米黄色、浅肉红色粗晶白云岩,其中下部主要为灰岩、白云质灰岩、粉晶白云岩、以层状为主,产状稳定,呈北东-南西走向。

产状特征:赋矿的粗晶白云岩,在产状上严格受层间破碎带控制;呈“似层状”的脉状产出,产状不稳定,时而膨大,时而尖灭。可见穿插于威宁组下部,与矿体显示明显的空间关系。

岩石学特征:通过摆佐组中浅黄褐色细晶白云岩(图3A)网脉状粗晶白云石化灰岩(图3B)及孔洞状-针孔状粗晶白云岩(图3C)的观察和镜下鉴定,表明:摆佐组浅黄褐色细晶白云岩呈浅黄褐色、泥晶-粉晶,白云石晶型不显;网脉状粗晶白云石化灰岩分布于粗晶白云岩与灰岩、灰质白云岩接触处,或穿插于层间断裂带内,露头与标本观察显示,白云石呈网脉状胶结灰质、白云质残块,接触界线显示明显港湾状构造,被交代的角砾成分取决于所在地的岩性,多为灰质角砾或细晶白云质角砾,镜下发现脉状白云石多呈粗晶自形粒状,与周围的灰色细晶-隐晶方解石呈现鲜明对比,具港湾状构造;

赋矿粗晶白云岩呈灰白、米黄、肉红色,白云石含量70%~80%,呈中-粗晶自形粒状(0.25~1.48 mm),也可见曲面鞍状白云石,正交偏光镜下见波状消光与雾心亮边。

### 3.2 粗晶白云岩的主量元素特征

摆佐组中赋存粗晶白云岩与白云质灰岩/灰岩2类岩石(表1):二者的主量元素特征有所不同。粗晶白云岩MgO平均含量为15.47%(8.90%~20.40%),CaO平均含量为38.47%(33.10%~47.10%);白云质灰岩与灰岩的MgO平均含量为3.00%(1.1%~4.9%),CaO平均含量为54.6%(54.1%~55.1%);理想白云岩MgO含量为21.86%,CaO含量为30.41%。故MgO含量:理想白云岩>粗晶白云岩>白云质灰岩与灰岩(摆佐组原始岩性),CaO含量:白云质灰岩与灰岩>粗晶白云岩>理想白云岩。粗晶白云岩中SiO<sub>2</sub>平均含量3.63%,TFe平均含量0.35%,高于白云质灰岩、灰岩(SiO<sub>2</sub>平均含量2.95%,TFe平均含量0.18%)。

### 3.3 粗晶白云岩的稀土元素特征

为重点研究赋矿粗晶白云岩的稀土元素特征,

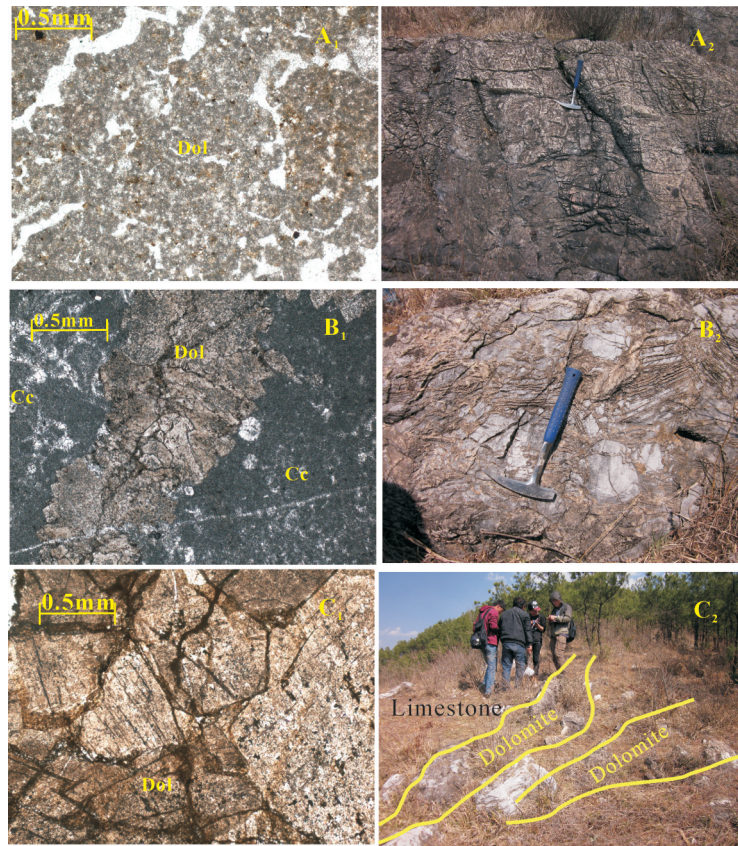


图3 会泽富锗银铅锌矿床白云岩类型照片

A<sub>1</sub>—细-微晶粒状白云石(单偏光);A<sub>2</sub>—摆佐组中浅黄褐色细晶白云岩;B<sub>1</sub>—粗晶自形粒状白云石脉穿插于微晶方解石中(单偏光);B<sub>2</sub>—网脉状粗晶白云石化灰岩;C<sub>1</sub>—粗晶自形-半自形粒状白云石(单偏光);C<sub>2</sub>—粗晶白云岩脉

Fig. 3 Photos of different types of dolomite in the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

A<sub>1</sub>—Fine-grained dolomite(plain light); A<sub>2</sub>—Fine-grained dolomite of C1b; B<sub>1</sub>—Coarse-grained dolomite veins interspersed with microcrystalline calcite(plain light); B<sub>2</sub>—Stockwork crude dolomite limestone; C<sub>1</sub>—Coarse-grained selfshaped-semi-self-shaped granular dolomite; C<sub>2</sub>—Coarse-grained dolomite veins

表1 会泽矿区摆佐组主量元素组成(%)(韩润生, 2006)  
Table 1 Major elements (%) in C1b of Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

样品名	白云质灰岩		粗晶白云岩					
	Sc-32	HQ-173	Sc-33	Sc-34	Sc-35	HR-5	HQ-89	HQ-176
SiO <sub>2</sub>	2.5	3.4	3.75	3.59	2.21	4.85	5.39	1.96
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.35	0.37	0.01	0.06	0.21	0	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.47	0.24	0.47	0.23	0.23	1.65	0.09
Tfe	0.12	0.23	0.2	0.14	0.19	0.92	0.38	0.24
MnO	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
MgO	4.9	1.1	14.7	8.9	15.9	15.1	17.8	20.4
CaO	54.1	55.1	38.8	47.1	42.7	34.9	34.2	33.1
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03
K <sub>2</sub> O	0.02	0.06	0.04	0.01	0.03	0.04	0.16	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.001	0.22	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002
CO <sub>2</sub>	37.05	38	37.2	36.7	34.52	37.3	34.8	37.9
其他	0.45	0.71	4	2.3	3.45	5.6	4.9	5.3
合计	99.68	99.69	99.36	99.27	99.35	99.2	99.34	99.28

本次采集的样品均位于会泽富锶银铅锌矿区内摆佐组,共17件,分别采自于地表、坑道等典型剖面。通过详细的野外地质观察和室内显微鉴定,摆佐组细晶白云岩2件、摆佐组白云质灰岩2件、粗晶白云岩5件、粗晶白云石化灰岩7件、铅锌矿石2件。全部样品在无污染的环境下研磨至200目,缩分成测试样品。稀土元素等微量元素组成由国家地质实验测试中心测定,使用ICP-MS方法测试,分析精度优于5%。

(1)稀土元素总量 $\Sigma$ REE:  $\Sigma$ REE可以反映流体来源、成岩过程等相关信息。碳酸盐岩 $\Sigma$ REE变化范围为 $(2.16\sim 39.18)\times 10^{-6}$ ,符合海相碳酸盐岩稀土元素总量变化范围(韩润生,2000);粗晶白云岩 $\Sigma$ REE平均为 $2.76\times 10^{-6}$ ,变化范围为 $(2.16\sim 3.35)\times 10^{-6}$ ;粗晶白

云岩化灰岩 $\Sigma$ REE平均为 $12.18\times 10^{-6}$ ,变化范围为 $(5.98\sim 20.74)\times 10^{-6}$ ;白云质灰岩 $\Sigma$ REE为 $5.21\times 10^{-6}$ ,符合韩润生等(2001)所测的会泽摆佐组白云质灰岩稀土元素变化范围;细晶白云岩 $\Sigma$ REE平均为 $36.12\times 10^{-6}$ ,变化范围为 $(33.05\sim 39.18)\times 10^{-6}$ (表2),参考韩润生等(2001)的研究,铅锌矿石 $\Sigma$ REE平均值为 $1.45\times 10^{-6}$ ,变化范围为 $(0.73\sim 2.17)\times 10^{-6}$ 。 $\Sigma$ REE呈现如下规律:细晶白云岩>粗晶白云岩化灰岩>白云质灰岩>粗晶白云岩>铅锌矿石(图4d)。

(2)轻重稀土比值(LREE/HREE):采用Gromet et al. (1984) NASC 标准值进行标准化做出REE配分模式曲线,以推断蚀变流体性质和来源。从图4可以看出,粗晶白云岩、粗晶白云岩化灰岩、细晶白云岩与白云质灰岩均呈现轻稀土相对重稀土富集

表2 会泽摆佐组白云岩稀土元素组成 ( $10^{-6}$ )

Table 2 REE characteristics ( $10^{-6}$ ) of the dolomite in C1b of the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

岩性	普通围岩			蚀变不完全围岩						蚀变围岩			铅锌矿石*		
	白云质灰岩	细晶白云岩		粗晶白云石化灰岩						粗晶白云岩			HQ-93	HQ-94	
样号	H0105-13	H0105-14	H0105-16	316-12	316-7-1	316-7-2	318-12-1	318-12-2	314-18	317-16	317-15	317-13	317-12	HQ-93	HQ-94
La	1.12	6.38	6.99	4.01	2.55	3.52	2.34	1.39	1.28	1.37	0.46	0.48	0.85	0.12	0.31
Ce	2.1	13.62	15.23	7.5	4.77	7.12	4.99	3.05	3.06	2.55	0.86	1.17	1.34	0.27	0.75
Pr	0.27	1.87	2.41	1.15	0.76	1.18	0.53	0.34	0.46	0.34	0.12	0.13	0.19	0.05	0.12
Nd	1	6.13	8.16	4.04	2.72	4.76	1.83	1.17	1.51	1.08	0.39	0.54	0.68	0.14	0.61
Sm	0.19	1.43	1.78	0.91	0.59	1.09	0.31	0.21	0.31	0.18	0.06	0.1	0.11	0.04	0.11
Eu	0.04	0.26	0.35	0.17	0.13	0.23	0.08	0.04	0.07	0.04	0.02	0.03	0.04	0.04	0.07
Gd	0.19	1.46	1.82	0.91	0.64	1.07	0.47	0.21	0.3	0.21	0.09	0.11	0.16	0.03	0.08
Tb	0.02	0.13	0.17	0.1	0.07	0.13	0.05	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0.01
Dy	0.13	0.88	1.17	0.6	0.48	0.76	0.29	0.11	0.15	0.09	0.06	0.08	0.1	0.01	0.05
Ho	0.02	0.14	0.17	0.1	0.08	0.14	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0.01
Er	0.05	0.34	0.44	0.26	0.2	0.34	0.13	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02
Tm	0.01	0.05	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.02
Yb	0.05	0.31	0.37	0.24	0.22	0.31	0.13	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.01	0.02
Lu	0.01	0.06	0.07	0.04	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0
Y	0.81	4.74	6.16	3.94	2.62	4.92	1.72	0.63	1.29	0.63	0.77	0.84	0.68	0.14	0.35
$\Sigma$ REE	5.21	33.05	39.18	20.06	13.29	20.74	11.24	6.67	7.27	5.98	2.16	2.76	3.35	0.73	2.17
LREE	4.73	29.69	34.91	17.78	11.52	17.9	10.08	6.19	6.69	5.57	1.92	2.45	4.12	0.65	1.96
HREE	0.49	3.36	4.28	2.28	1.77	2.84	1.16	0.48	0.58	0.42	0.25	0.31	0.53	0.08	0.21
LREE/HREE	9.72	8.83	8.16	7.78	6.52	6.3	8.71	12.93	11.6	13.35	7.72	7.81	7.8	8.13	9.25
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	2	1.93	1.8	1.55	1.1	1.08	1.75	2.56	6.35	4.46	1.12	1.19	1.46	0.94	1.31
$\delta$ Eu	0.85	0.84	0.92	0.89	0.99	1.01	0.92	0.91	1.15	1.03	1.2	1.14	1.03	5.37	3.56
$\delta$ Ce	0.91	0.93	0.87	0.83	0.81	0.82	1.06	1.05	0.94	0.89	0.87	1.11	0.97	0.87	0.94

注: \*据 Han et al. (2012), 其他数据为本文。

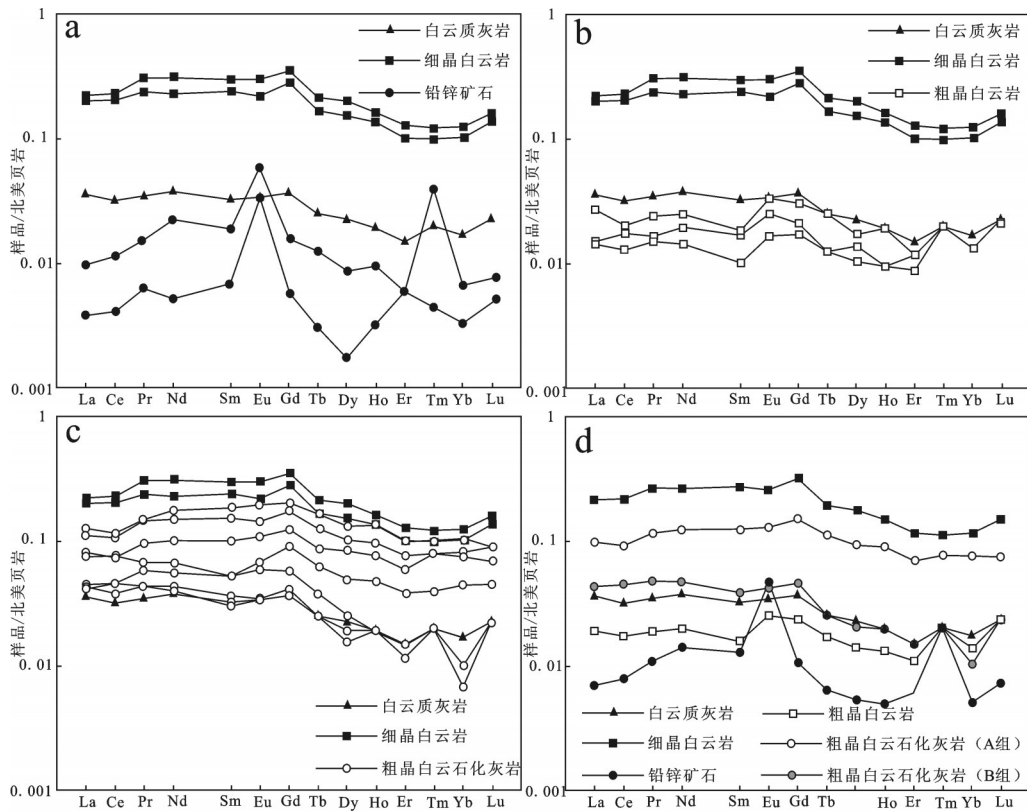


图4 会泽矿区摆佐组白云岩稀土元素配分图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of dolomite (C<sub>1b</sub>) in the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

的特征(LREE/HREE 在 6.30~13.35)(图 4b)。其中,白云质灰岩 LREE/HREE 为 9.72; 细晶白云岩 LREE/HREE 平均值为 8.46。与之相比,粗晶白云岩(粗晶白云岩化灰岩)LREE/HREE 范围为 6.30~12.93, 平均值为 8.27, 基本继承了原岩的稀土元素配分模式(图 4b)。矿石 LREE/HREE 范围为 8.13~9.25。各组样品间 LREE/HREE 差别不大。

(3)La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>: 摆佐组岩石 La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 平均值为 1.91, 变化范围 1.80~2.00; 粗晶白云岩 La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 平均值为 1.26, 变化范围 1.12~1.46; 铅锌矿石 La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 平均值为 1.12, 变化范围 0.94~1.31; 粗晶白云岩化灰岩 La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 分为 2 组: A 组低于未蚀变围岩(1.08~1.75), 平均 1.37; B 组高于未蚀变围岩(2.56~6.35), 平均 4.46, 可能反映了不同流体作用的特征。

(4)δCe: Ce 对环境的氧化-还原条件敏感, 常与其他三价稀土元素发生分馏, Ce<sup>3+</sup> 在氧化条件下容易变价为较难溶的 Ce<sup>4+</sup> 而优先进入到沉积物中, 从而使流体出现 Ce 负异常, 因此 Ce 负异常程度可反映流体的氧化性程度。H0105-13、H0105-14、H0105-16、316 样品采自于同一地段, 将 H0105 与

316 样品的 REE 分配模式对比, 发现原岩 δCe 为 (0.87~0.93) × 10<sup>-6</sup>, 粗晶白云岩 δCe 为 (0.80~0.83) × 10<sup>-6</sup>, 略低于原岩(图 4b)。

(5)δEu: 细晶白云岩、白云质灰岩 δEu 介于 0.87~0.93, 与之相比, 粗晶白云岩、粗晶白云岩化灰岩 δEu 值明显升高。δEu 整体呈现如下变化特征: 铅锌矿石(4.04)>粗晶白云岩(1.12)>粗晶白云岩化灰岩(0.91, 部分样品具正异常)>细晶白云岩与白云质灰岩(0.84)(图 4a~d)。

### 3.4 粗晶白云岩成因讨论

据前文描述的不同类型白云岩产状、岩石学与主量元素、稀土元素等诸特征, 并对比不同类型白云岩与矿石的稀土元素地球化学特征, 认为该矿床粗晶白云岩的成因, 应属成矿期构造热液白云岩, 与摆佐组细晶白云岩或白云质灰岩明显不同。其证据如下:

(1) 粗晶白云岩主要沿摆佐组中层间断裂带分布, 常与矿体、矿化体共存, 沿矿山厂、麒麟厂断裂带亦有分布(图 5); 网脉状白云石化灰岩主要分布于粗晶白云岩与细晶白云岩/白云质灰岩交界附近, 说



明粗晶白云岩的展布受控矿构造控制,与层状细晶白云岩、白云质灰岩明显不同,网脉状白云石化灰岩分布于粗晶白云岩与地层岩石的过渡带(图5f)。

(2)通过镜下观察,粗晶白云岩与摆佐组细晶白云岩相比,后者的白云石具粗晶自形粒状、鞍状特征,为沉积-成岩作用的产物,而前者中的粗晶白云石呈港湾状,显示粗晶白云岩属热液交代成因,其原岩应为细晶白云岩或白云质灰岩;粗晶白云岩化灰岩中蚀变不完全,常残余部分蚀变灰岩的残留体。

(3)粗晶白云岩Mg/Ca高于摆佐组原岩,呈现粗晶白云岩蚀变前为灰岩或白云质灰岩。在热液作用下灰岩与白云质灰岩逐渐蚀变为粗晶白云岩。粗晶白云岩SiO<sub>2</sub>与Fe高于白云质灰岩与灰岩,也体现粗晶白云岩经受过热液蚀变作用。

(4) $\Sigma$ REE: 细晶白云岩>粗晶白云岩化灰岩>白云质灰岩>粗晶白云岩>铅锌矿石。这一特征显示摆佐组岩石通过热液蚀变作用, $\Sigma$ REE呈现出从未蚀变围岩→蚀变围岩→铅锌矿石逐渐降低的过程;粗晶白云岩化灰岩受原岩残块的影响,稀土总量较高。

(5)矿石 $\Sigma$ REE可指示流体的 $\Sigma$ REE,La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>具有白云质灰岩和细晶白云岩>A组粗晶白云石化灰岩>粗晶白云岩>矿石的特征,体现了成矿流体具有从矿体→粗晶白云石化灰岩→摆佐组白云质灰岩和细晶白云岩运移的特征,且不同程度地改变了碳酸盐岩富轻稀土贫重稀土的特征。张艳等(2015)认为,滇东北矿集区铅锌矿床的成矿流体为酸性、富氟离子的流体,而酸性流体中Cl<sup>-</sup>与LREE的络合物强于HREE,故认为成矿流体在运移过程中萃取了围岩中的LREE,导致蚀变围岩的La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>小于未蚀变围岩。而B组La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>既高于围岩,也高于矿石,可能是其受非盆地流体作用而成。

(6)粗晶白云岩 $\delta$ Eu虽总体上与细晶白云岩、白云质灰岩类似,但具有无异常或弱正异常的特征,存在 $\delta$ Eu(矿石)> $\delta$ Eu(粗晶白云岩)> $\delta$ Eu(粗晶白云岩化灰岩)> $\delta$ Eu(细晶白云岩与白云质灰岩)的变化特征,这是由于Eu异常主要受氧化还原电位的控制,Eu<sup>3+</sup>/Eu<sup>2+</sup>氧化还原电位在温度升高过程中急剧增加,即温度增高过程中Eu<sup>3+</sup>/Eu<sup>2+</sup>平衡向氧逸度增加的方向转移,于是在高温条件下,流体中主要含Eu<sup>2+</sup>,而Eu<sup>2+</sup>和Ca<sup>2+</sup>具有相同的电价和相似的离子半径,因此优先进入矿物晶格,出现Eu正异常(Hsü et

al., 1973)。该矿床的粗晶白云岩 $\delta$ Eu普遍值高于原岩,且出现正异常,表明粗晶白云石化碳酸盐岩,并非成岩成因,为热液蚀变作用而成。

(7)对比同一地段未蚀变样(H0105-13、H0105-14、H0105-16)与蚀变样(316-12/316-7)的 $\delta$ Ce,后者比前者低。研究认为,Ce对环境的氧化还原性敏感,常与其他三价稀土元素发生分馏,Ce<sup>3+</sup>在氧化条件下容易变价为难溶的Ce<sup>4+</sup>而优先进入到沉积物中,从而使流体出现Ce负异常(苏中堂等,2012)。因此,Ce负异常指示流体的氧化程度,呈现出粗晶白云岩的形成相对白云质灰岩和细晶白云岩可能经历过相对还原的条件。综上所述,粗晶白云岩的产状特征、岩石学特征与Mg/Ca、SiO<sub>2</sub>、Fe较高、HREE相对富集、 $\delta$ Eu值相对升高、 $\delta$ Ce相对降低等特征,均显示了会泽富锗银铅锌矿区的粗晶白云岩,具有显著的热液蚀变特征,且受构造控制,应属蚀变成因的白云岩。区域上普遍出露的摆佐组细晶白云岩与白云质灰岩为未蚀变岩石。而粗晶白云岩化灰岩具有不完全蚀变的特征。粗晶白云石化与矿体在空间上密切相关,稀土元素特征均指示发生粗晶白云石化的流体与成矿流体具有同源性。

## 4 矿化-蚀变分带规律

通过大量的野外调研及多个中段、多剖面的矿化-蚀变精细测量,该矿床的赋矿白云岩不仅具有明显的热液蚀变成因,而且与铅锌矿(化)体伴随,具有明显的矿化-蚀变分带性,矿体围岩的不同地段,矿化-蚀变带的空间分布明显不同。该矿床呈现的矿化-蚀变分带规律如下(图6):

I. 铅锌矿石带: 矿体多呈似层状、透镜体状、囊状、扁豆状及不规则脉状,一般沿层间断裂展布;沿其走向和倾向,矿体均呈现尖灭再现(侧现)、膨大收缩的变化规律,闪锌矿呈浅黄色、黄褐色、浅褐色、黑褐色,细-巨晶他形-自形晶粒状,以中、粗晶为主,常与黄铁矿条带、方铅矿条带互层,方铅矿呈亮浅灰色-灰黑色,镜下主要呈灰白-亮白色,其他形-自形晶粒状,粒径0.2~10 mm,具立方体解理,三角孔内部解理发育,受应力作用变形明显,常见揉皱结构,矿石中发育团块状方解石(图5a)。

II. 铅锌矿化黄铁矿石带: 黄铁矿主要呈不规则团块状,靠近与铅锌矿接触界线处,呈粗粒,晶形完

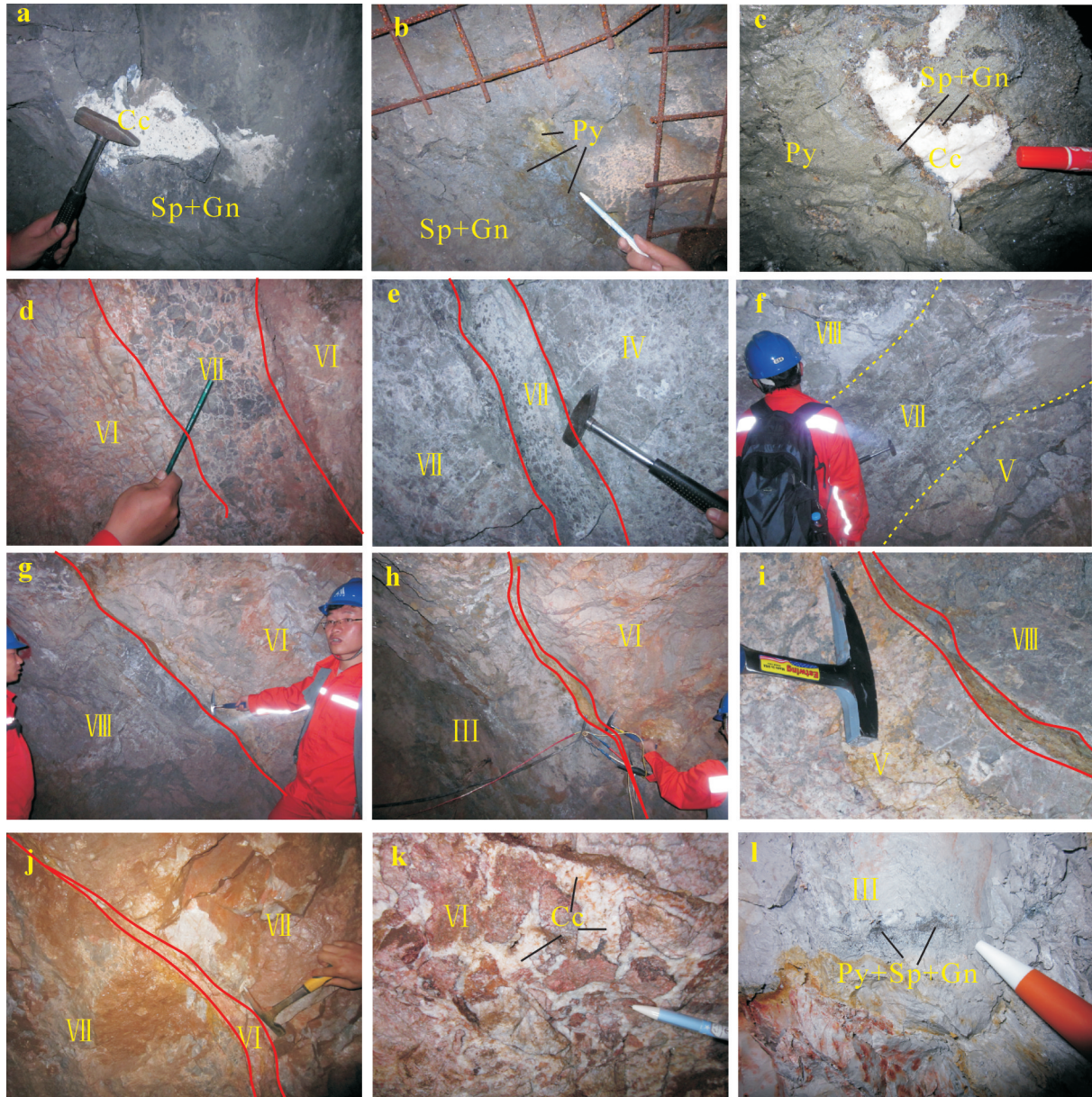


图5 会泽富锗银铅锌矿床典型矿化-蚀变分带特征图

a—铅锌矿体,发育团块状方解石; b—铅锌矿体,发育黄铁矿团斑; c—黄铁矿体,发育团块状方解石(边缘发育细脉状铅锌矿); d—VII带穿插至VI带中; e—层间断裂上盘为IV带,向下盘逐渐过渡为VII带; f—V带逐渐过渡至VII带至VIII带; g—VIII/VI带以NE向层间断裂为界限; h—III/VI带以NE向层间断裂为界限; i—V/VIII带以NE向层间断裂为界限; j—VI带穿插至VII带内; k—强方解石化粗晶白云岩,方解石呈团块状/脉状; l—灰白色粗晶白云岩,见细脉状黄铁矿/铅锌矿; Cc—方解石; Py—黄铁矿; Sp—方铅矿; Gn—闪锌矿

Fig. 5 Typical mineralization-alteration zoning characteristics of the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

a— Lead-zinc body with lump of calcite; b—Lead-zinc orebody with porphyritic pyrite; c— Pyrite body with lump of calcite (with lead-zinc veins at the edge); d—VII-zone penetrating VI-zone; e—IV-zone to VII-zone, with interlayer faults as the boundary; f— Gradual transition of V-zone to VIII-zone, with VII-zone between them; g— NE-striking interlayer fault serving as a boundary to VIII-zone and V-zone; h— NE-striking interlayer fault serving as a boundary to III-zone and VI-zone; i— NE-striking interlayer fault serving as a boundary to V-zone and VIII-zone; j— V-zone penetrating VII-zone; k—Strong calcitized (lumps/veins) limestone; l— Gray coarse-grained dolomite, with pyrite and lead-zinc veinlets in it; Cc— Calcite; Py— Pyrite; Sp— Sphalerite; Gn— Galena

整,在黄铁矿团块内部呈细粒状分布,并见闪锌矿发育(图5c)。

III-IV.黄铁矿化、铅锌矿化灰白色孔洞状粗晶白云岩带(图5I):白云石含量高于70%,呈粗晶自形粒状;方解石呈团块状、细脉状;五角十二面体细粒状黄铁矿主要沿节理面、裂隙面与晶洞分布,III与IV的不同点主要是III带常见细脉状、团斑状或星点状的铅锌矿或黄铁矿。

V.米黄色粗晶白云岩带(图5f,i):在矿化较弱区段不发育(图6,1764/1584中段),为具有交代残余结构的肉红色中粗晶白云岩。白云石含量约80%,主要呈粗晶粒状(粒度0.24~2.0 mm),并见少量自形细粒状,其晶内裂隙密度增大;方解石脉呈团块状、微细脉状分布,浸染状粗晶黄铁矿(或氧化成褐铁矿,粒度1~10 mm)发育,具五角十二面体、立方体假像、交代残留骸晶结构。

VI.肉红色粗晶白云岩带:白云石含量大约75%,呈粗晶粒状(粒度0.21~1.48 mm),透明度差,少量方解石细脉沿顺层裂隙充填。发育散点状立方体黄铁矿与五角十二面体、立方体假像的散点状褐铁矿(黄铁矿氧化而成),散点状氧化铁主要分布于黄铁矿及白云石边部,为染色物质。溶蚀孔与裂隙不太发育,溶蚀孔大小为0.3~0.5 mm,见少量亚晶与隐晶质方解石充填于晶间空隙中。

VII.网脉状粗晶白云石带:网脉状粗晶白云石胶结不规则细晶灰岩残块,为白云石化不完全的表现,常存在于粗晶白云岩的边界(图5e,f)或穿插于其他带内(图5d),可独成一带,是白云岩化减弱的明显标志。

VIII.弱白云石化灰岩带:该带蚀变明显减弱,灰岩或灰质白云岩中偶见方解石化、白云石化细脉或团斑。

除矿化-蚀变分带性外,矿化-蚀变带在不同地段展布的分带规律也有差异。从图6可以看出,离矿体越远,蚀变越弱,强矿化-蚀变岩愈紧靠矿体(图6)。矿体旁侧白云岩蚀变体大体呈“似层状”分布于NE向层间断裂带中(图5g~i),常见6~7个蚀变带(图6,1331中段),蚀变类型相对完整;在矿化蚀变较弱地段,仅出现部分蚀变带。例如,远离矿体的区域(图6,1764/1584中段),由于矿化较弱,难见所有蚀变带,通常只出现VI、V、IV中的1~2个带;蚀变

残留体出现的概率增加,显示出蚀变减弱,具不完全蚀变特征。

## 5 构造对矿化-蚀变分带的控制

通过构造-蚀变剖面测量和矿化-蚀变分带规律分析,研究发现,无论是蚀变体的展布特征,还是蚀变分带规律,均严格受成矿期不同级次构造控制。

(1)在矿山厂、麒麟厂断裂带内的栖霞-茅口组灰岩中粗晶白云石化以脉状、囊状分布。以矿山厂断裂为例(图7a),在主断裂带内,靠近断裂下盘一侧岩性为糜棱岩化灰岩,栖霞-茅口组灰岩中可见方解石细脉或拉长的斑状方解石,大体呈定向排列;靠近断裂上盘可见碎裂栖霞-茅口组灰岩,向断裂带内逐渐变化为蚀变粗晶白云岩及网脉状白云石化灰岩(图7c~f),且在蚀变的粗晶白云岩带中分布着重晶石脉(图7a)及白云质、灰质的断层角砾岩;在断裂带中部,残留碎裂的栖霞-茅口组碳酸盐岩。结合上述蚀变现象,蚀变的粗晶白云岩与网脉状白云石化灰岩(蚀变残留体)中,未见明显的铅锌矿化,局部可见硅化,体现了矿山厂断裂作为导矿构造提供了成矿热液运移的通道,其矿化-蚀变分带明显。由此看来,矿山厂断裂(导矿构造)严格控制了蚀变带的分布。

(2)矿山厂、麒麟厂断裂上盘的赋矿岩石主要为粗晶白云岩,其中矿体和近矿蚀变粗晶白云岩多呈脉状或“似层状”、透镜状展布于层间断裂带中(图7b),而在断裂带下盘,蚀变、矿化极弱。

(3)在矿体周围或矿化较强地段,存在6~7个矿化-蚀变带,可以将层间断裂视为矿化-蚀变带圈定的大致边界。粗晶白云岩蚀变带与矿体均分布在一组层间断裂内,相邻两个蚀变带的界限大体以NE向压扭性层间断裂为界;在蚀变相对较弱区域,蚀变带通常减少为2~3个,这些蚀变带也以层间断裂为界,相对较强蚀变带分布更窄,也见层间断裂带内夹小于10 cm的肉红色粗晶白云岩带(图5j)。也就是说,在矿区外围蚀变较弱地区,蚀变白云岩通常呈脉状,以几条相邻层间断裂为边界,穿插于原岩之中或以层间断裂为热液“贯入”通道,主要在断层上盘发生热液蚀变(图8)。

因此,该矿床的矿化-蚀变分带具有“由矿体向外,矿化-蚀变分带依次为:I.铅锌矿体→II.铅锌矿化

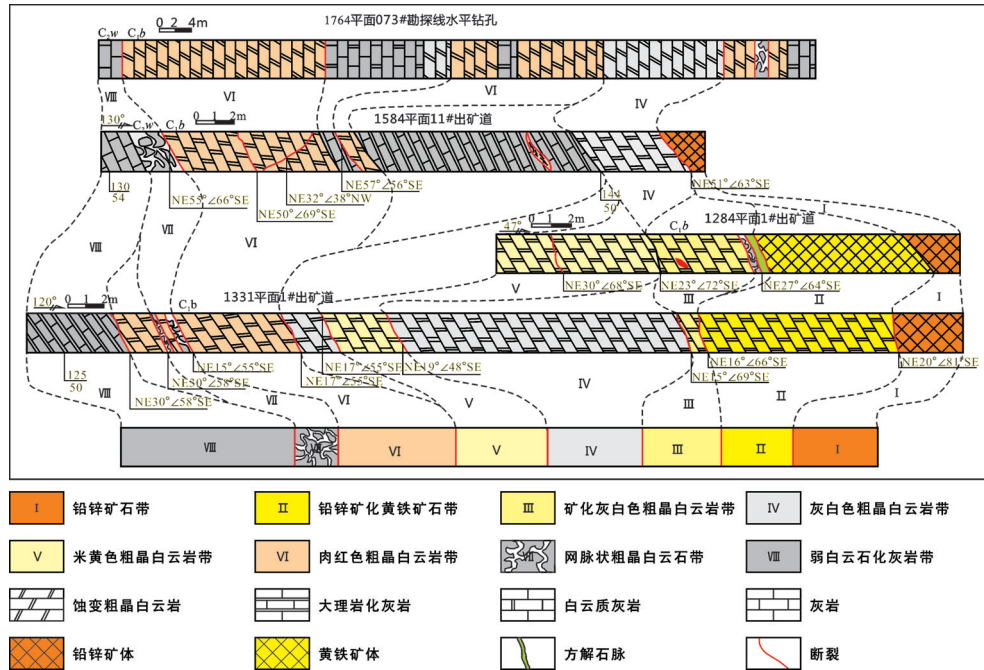


图6 会泽富锗银铅锌矿床围岩蚀变测量剖面图

Fig. 6 Regional geological section of the wall rock alteration in the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

黄铁矿带→III:铅锌矿化/黄铁矿化粗晶白云岩带→IV: 灰白色粗晶白云岩带→V: 米黄色白云岩带→VI: 肉红色粗晶白云岩带→VII: 弱白云石化灰岩带”的规律,且严格受各级次成矿断裂控制,离矿体越近蚀变越强、蚀变带出露越全,见矿化蚀变分带模型(图8)。冲断褶皱构造使铅锌矿体、强蚀变带严格限制于断层上盘,成矿热液在构造应力驱动下,沿主要的导矿构造(矿山厂、麒麟厂断裂)向上运移,至上盘层间断裂带中沉淀,以层间断裂带为蚀变的边界,形成铅锌矿体和蚀变分带,从而形成冲断褶皱构造控制矿田→矿山厂、麒麟厂断裂控制矿床(体)和蚀变体→层间断裂带控制粗晶白云岩蚀变带和矿脉的多级次构造控岩控矿特征。

## 6 结论

(1)基于蚀变白云岩的产状、岩石学特征与高Mg/Ca、SiO<sub>2</sub>、Fe, 相对富集HREE、δEu值升高等特征,表明粗晶白云岩具有显著的热液蚀变成因,形成粗晶白云石化的流体与成矿流体具同源性,因此粗晶白云石化等热液蚀变可指示找矿方向。

(2)从矿体到围岩,该矿床的矿化-蚀变分带依次为: I: 铅锌矿体→II: 铅锌矿化黄铁矿带→III: 铅

锌矿化/黄铁矿化粗晶白云岩带→IV: 灰白色粗晶白云岩带→V: 米黄色白云岩带→VI: 肉红色粗晶白云岩带→VII: 弱白云石化灰岩带。其矿化-蚀变带主要受层间断裂带控制,各带分界多以层间断裂接触为主。

(3)多级次构造控制蚀变带和矿体的分布: 冲断褶皱构造为矿床的导矿断裂(矿山厂断裂、麒麟厂断裂带),其内部及其上盘的层间断裂带为热液运移和沉淀、成矿作用发生提供了良好的构造条件,同时各蚀变带以层间断裂组为主要边界,从而使冲断褶皱构造将矿化-蚀变带限制在其上盘;层间断裂组作为成矿和热液蚀变的有利空间,严格控制矿化-蚀变边界的不同级次构造共同控制矿体和蚀变体的就位。

总而言之,多级构造控制了会泽HZT型铅锌矿床与矿化-蚀变带: NE向冲断褶皱构造带-褶皱作用形成主断裂上盘的层间断裂-粗晶白云岩组合共同控制了矿体和近矿蚀变白云岩的展布及其分带规律,形成了典型的“成矿构造-蚀变白云岩-铅锌矿体”的矿化结构。因此,今后的找矿工作应围绕多级构造控岩控矿系统展开,以冲断褶皱构造上盘为找矿方向,以褶皱翼部的层间断裂带为研究重

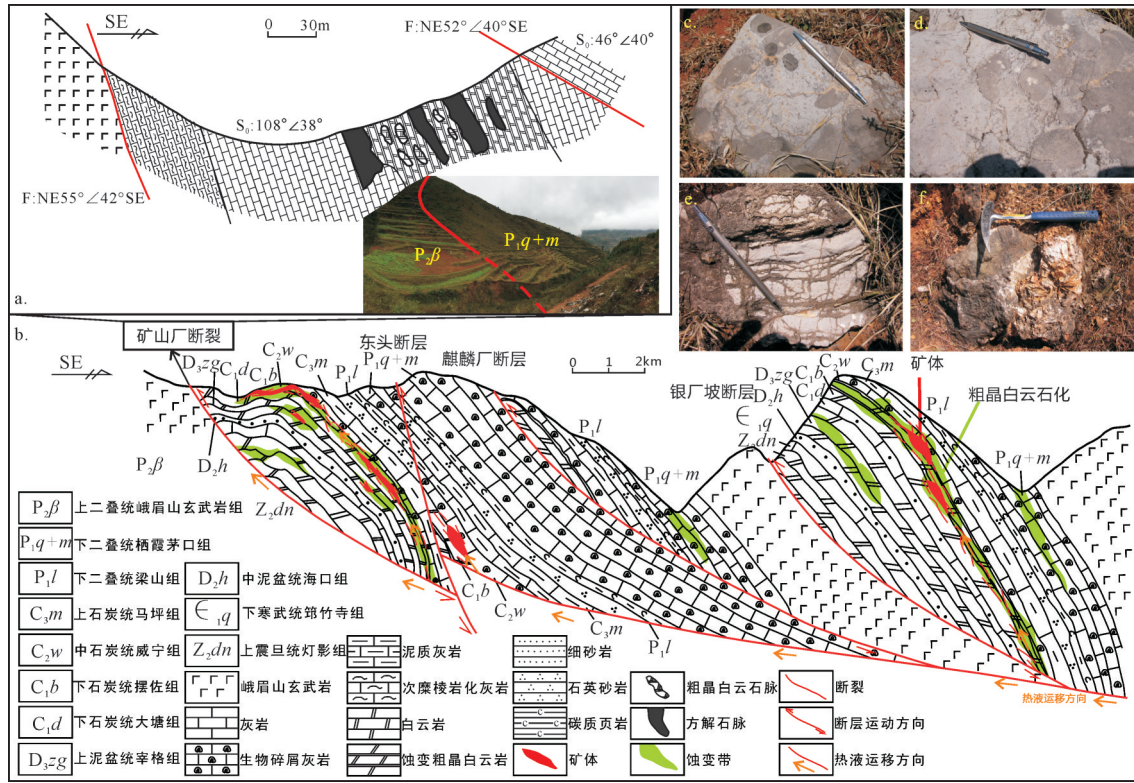


图7 会泽富锗银铅锌矿床构造-蚀变控矿素描图

Fig. 7 Ore-controlling structure-alteration in the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

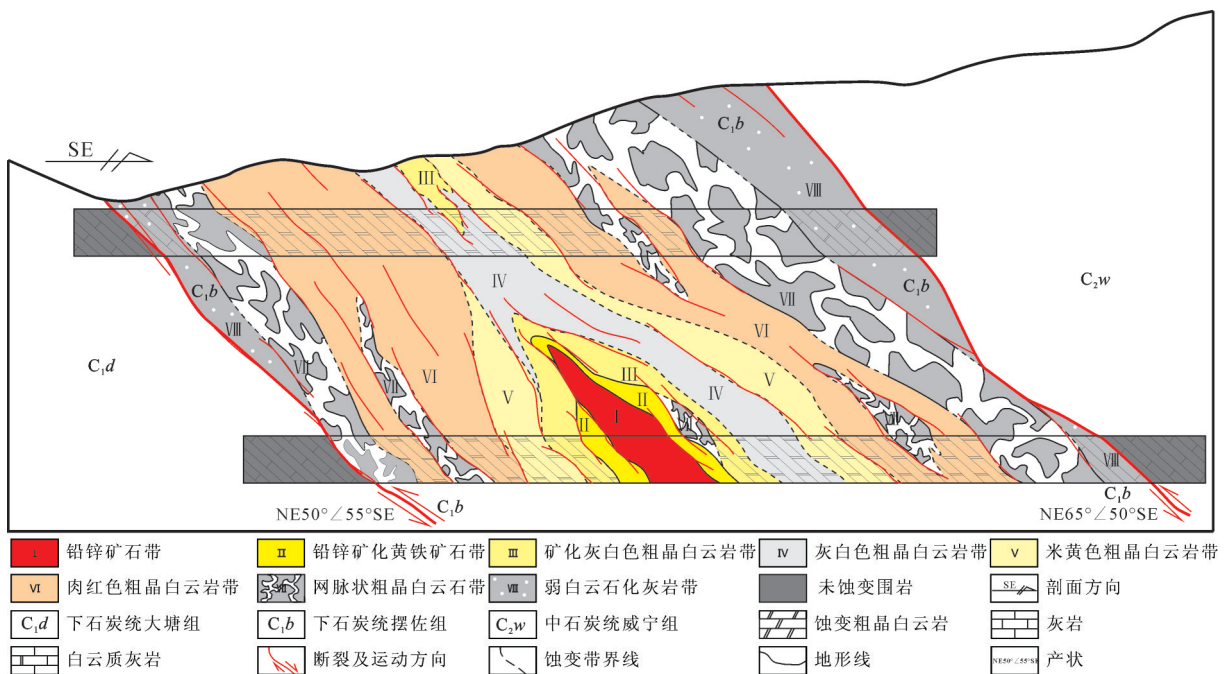


图8 会泽富锗银铅锌矿床矿化-蚀变分带模式图

Fig. 8 Mineralization-alteration zoning of the Huize Ge-rich Ag-Zn-Pb deposit

点,以粗晶白云岩带为主要找矿线索,进而寻找会泽型铅锌矿床。

**致谢:** 审稿专家及昆明理工大学西南地质调查所老师、同学对论文提出了宝贵的修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

## References

- Adams J E, Rhodes M L. 1960. Dolomitization by seepage refluxion[J]. AAPG Bulletin, 44(12): 1912-1920.
- Chen Jin. 1993. Genesis and metallogenic pattern of the Qilinchang Zn-Pb ore deposits[J]. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 2(2): 85-90 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shijie. 1986. The discussion of sedimentation genesis in the lead-zinc deposit in the northeastern of Guizhou Province[J]. Geology of Guizhou, 8(3): 41-48 (in Chinese).
- Gromet L P, Haskin L A, Korotev R L, Dymek R F. 1984. The "North American Shale Composite": Its compilation, major and trace element characteristics [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 48 (12): 2469-2482.
- Hardie L A. 1991. On the Significance of Evaporites [J]. Earth and Planetary Sciences, 19(19).
- Han Runsheng, Liu Congqiang, Huang Zhilong, Li Yuan, Chen Jin. 2000. Characteristics of ore-controlling structures and REE composition of fault rocks in Huize lead-zinc deposit, Yunnan [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 20(4): 11-18(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Liu Congqiang, Huang Zhilong, Chen Jin, Ma Deyun, Li Yuan. 2001. Genesis modeling of Huize lead-zinc ore deposit in Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 21 (4): 674-680 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L. 2007. Geological features and origin of the Huize carbonate-hosted Zn-Pb-(Ag) district, Yunnan [J]. Ore Geology Reviews. 31: 360-383.
- Han Runsheng, Chen Jin, Huang Zhilong, Ma Deyun, Xue Chuandong and Li Yuan et al. 2006. Tectonic Metallogenic Dynamics and Appreciation of Concealed Ores—An Example of Huize superlarge Zn-Pb (Ag-Ze) Deposit in Yunnan Province [M]. Beijing: Science Press, 1-185(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Zou Haijun, Hu Bin, Hu Yuzhao, Xue Chuandong. 2007. Features of fluid inclusions and sources of ore-forming fluid in the Maoping carbonate-hosted Zn-Pb-(Ag-Ge) deposit, Yunnan, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2109-2118.
- Han R S, Liu C Q, Emmanuel John M, Carranza, Hou B H, Huang Z L, Wang X K, Hu Y Z and Lei L. 2012. REE geochemistry of altered fault tectonites of Huize-type Zn-Pb-(Ge-Ag) deposit, Yunnan Province, China[J]. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 12: 127-146.
- Han Runsheng, Hu Yizhao, Wang Xuekun, HOU Baohong, Huang Zhilong, Chen Jin. 2012. Mineralization model of rich Ge-Ag-bearing Zn-Pb polymetallic deposit concentrated district in Northeastern Yunnan, China[J]. Acta Geologica Sinica, 86(2): 280-294(in Chinese with English abstract).
- Han Runsheng, Wang Feng, Hu Yuzhao, Wang Xuekun, Ren Tao, Qiu Wenlong, Zhong Kanghui. 2014. Metallogenic tectonic dynamics and chronology constrains on the Huize-type (HZT) Germanium-rich Silver-Zinc-Lead deposit [J]. Acta Mineralogica Sinica, 4: 758-771.
- Han Runsheng, Chen Jin, Wang Feng, Wang Xuekun, Li Yuan. 2015. Analysis of metal element association Halos within fault zones for the exploration of concealed ore-bodies—a case study of the Qilinchang Zn-Pb-(Ag-Ge) deposit in the Huize mining district, Yunnan, China [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2015, 159: 62-78.
- Hsü K J, Schneider J. 1973. Progress Report on Dolomitization — Hydrology of Abu Dhabi Sabkhas, Arabian Gulf[M]. Springer Berlin Heidelberg.
- Middleton K, Coniglio M, Sherlock R, Frapce S K. 1993. Dolomitization of Middle Ordovician carbonate reservoirs, southwestern Ontario [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 41(2): 150-163.
- Liao Wen. 1984. The discussion of S, Pb isotope characteristics and mineralization model of the western and eastern of Yunnan[J]. Geology and Exploration, (1): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xun, You Guoqing. 2015. Tectonic regional subdivision of China in the light of plate theory[J]. Geology in China, 42(1): 1-17(in Chinese with English abstract).
- Luo Zhaohua, Zhou Jiulong, Hei Huixin, Liu Cui, Su Shangguo. 2014. Post-supereruption(-superintrusion) metallogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(11): 3131-3154(in Chinese with English abstract).
- Ma H J, Zhang S T, Cheng X F, Sui S G. 2014. Geochemical characteristics and genetic analysis of Carboniferous dolomite in Huize basin, Yunnan[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 32(1): 118-125(in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Mei Yanxiong, Qu Hongying, Wang Haolin. 2013. Geological tectonic settings, depositional environments and ore-hosting rock assemblages for mineral deposits model with universality[J]. Geology in China, 40(1): 31-42(in Chinese with English abstract).
- Su Z T, Chen H D, Xu F Y, Xu F Y, Zhang C G. 2012. REE Characters of the Majiagou Dolomites in Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), S2: 53-61(in Chinese with English abstract).
- Su Z T, Chen H D. 2012. REE characters of the majiagou dolomites in ordos basin. Jilin Daxue Xuebao, 42, 53-61.
- Wen Dexiao, Han Runsheng, Wu Peng, He Jiaojiao. 2014. Altered dolomite features and petro-geochemical prospecting indicators in the Huize lead-zinc deposit[J]. Geology in China, 41(1): 235-245 (in Chinese with English abstract).
- Warren J K. 1990. Sedimentology and Mineralogy of dolomitic Coorong lakes, south Australia[J]. Journal of Sedimentary Research, 60(6): 843-858.
- Warren J. 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically

- important associations[J]. *Earth-Science Reviews*, 52(s 1/3): 1-81.
- Wu Peng, Liu Shaofeng and Dou Guoxing. 2014. Sedimentary response to Emeishan mantle plume in the eastern Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(6): 1793-1803.
- Xie Jiarong. 1941. Mineral resources generality of Yunnan[J]. *Geological Review*, Z1: 1-42(in Chinese).
- Yuan Bo, Mao Jingwen, Yan Xinhui, Wu Yue, Zhang Feng, Zhao Liangliang. 2014. Sources of metallogenic materials and metallogenic mechanism of Daliangzi Ore Field in Sichuan Province: Constraints from geochemistry of S, C, H, O, Sr isotope and trace element in sphalerite[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(1): 209-220(in Chinese with English abstract).
- Yang Wei, Zhang Tingshan, Liu Zhicheng, Huang Hao, Min Huajun, Yang Yang. 2014. Sedimentary and environmental responses to mantle plume: A case study of Emeishan mantle plume[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(3): 835-850(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changqing, Mao Jingwen, Yu Jinjie, Li Houmin. 2007. Study on fluid inclusion and the metallogenic mechanism of Chipu Zn-Pb deposit in Sichuan, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2541-2552(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changqing. 2008. The genetic model of Mississippi Valley-Type Deposits in the Boundary Area of Sichuan-Yunnan and Guizhou Provinces[D]. Beijing: China University of Geoscience(in Chinese with English summary).
- Zhang Changqing, Rui Zhongyao, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Lou Debo. 2013. The main successive strategic bases of resources for Pb-Zn deposits in China[J]. *Geology in China*, 40(1): 248-272(in Chinese with English abstract).
- Zhou C. 2001. The source of metals in the Qilinchang Zn-Pb deposit, northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints[J]. *Economic Geology*, 96(3): 583-598.
- Zhang Weiji. 1984. Study on sedimentogenesis and mineralization rules of Zn-Pb ore deposits in the northeast of Yunnan Province, China[J]. *Geology and Prospecting*, (7): 11-16 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yan, Han Runsheng, Wei Pingtang, Qiu Wenlong. 2015. PH-log $f_{O_2}$  and pH-log $a$  for Zn-Pb paragenesis and separation in the Zhaotong lead-zinc deposit[J]. *Geology in China*, (2): 607-620.
- Zhao Zhun. 1995. Metallogenic model of lead-zinc ore deposits in the east and the northeast of Yunnan Province, China[J]. *Geology of Yunnan Province*, 14(4): 364-376 (in Chinese with English abstract).
- 锌矿床成矿模式[J]. *矿物学报*, 21(4): 674-680.
- 韩润生, 陈进, 黄智龙, 马德云, 薛传东, 李元等. 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)[M]. 北京: 科学出版社.
- 韩润生, 邹海俊, 胡彬, 胡煜昭, 薛传东. 2007. 云南毛坪铅锌(银-锗)矿床流体包裹体特征及成矿流体来源[J]. *岩石学报*, 23(9): 2109-2118.
- 韩润生, 胡煜昭, 王学琨, HOU Baohong, 黄智龙, 陈进. 2012. 滇东北富锗银铅锌多金属矿集区矿床模型[J]. *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[J]. *大地构造与成矿学*, 4: 758-771.
- 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[J]. *地质与勘探*, 1: 1-6.
- 刘训, 游国庆. 2015. 中国的板块构造区划[J]. *中国地质*, 42(1): 1-17.
- 罗照华, 周久龙, 黑慧欣, 刘翠, 苏尚国. 2014. 超级喷发(超级侵入)后成矿作用[J]. *岩石学报*, 30(11): 3131-3154.
- 马宏杰, 张世涛, 程先锋, 眭素刚. 2014. 云南会泽石炭系摆佐组白云岩地球化学特征及其成因分析[J]. *沉积学报*, 32(1): 118-125.
- 裴荣富, 梅燕雄, 瞿泓滢, 王浩琳. 2013. 矿床类型模型的地质构造背景、成矿环境和容矿岩石组合[J]. *中国地质*, 40(1): 31-42.
- 苏中堂, 陈洪德, 徐粉燕, 张成弓, 林良彪. 2014. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩稀土元素地球化学特征[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, S2: 53-61.
- 文德满, 韩润生, 吴鹏, 贺皎皎. 2014. 云南会泽HZT型铅锌矿床蚀变白云岩特征及岩石-地球化学找矿标志[J]. *中国地质*, 41(1): 235-245.
- 吴鹏, 刘少峰, 窦国兴. 2014. 滇东地区峨眉山地幔柱活动的沉积响应[J]. *岩石学报*, 30(6): 1793-1803.
- 谢家荣. 1941. 云南矿产概论[J]. *地质评论*, Z1: 1-42.
- 袁波, 毛景文, 闫兴虎, 吴越, 张锋, 赵亮亮. 2014. 四川大梁子铅锌矿成矿物质来源与成矿机制: 硫、碳、氢、氧、锶同位素及闪锌矿微量元素制约[J]. *岩石学报*, 30(1): 209-220.
- 袁波, 毛景文, 闫兴虎. 2014. 四川大梁子铅锌矿成矿物质来源与成矿机制: 硫、碳、氢、氧、锶同位素及闪锌矿微量元素制约[J]. *岩石学报*, 30(1), 209-220.
- 杨巍, 张廷山, 刘治成, 黄浩, 闵华军, 杨扬. 2014. 地幔柱构造的沉积及环境响应——以峨眉地幔柱为例[J]. *岩石学报*, 30(3): 835-850.
- 张长青, 毛景文, 余金杰, 李厚民. 2007. 四川甘洛赤普铅锌矿床流体包裹体特征及成矿机制初步探讨[J]. *岩石学报*, 23(10): 2541-2552.
- 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[D]. 北京: 中国地质大学.
- 张长青, 芮宗瑶, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 姜德波. 2013. 中国铅锌矿资源潜力和主要战略接续区[J]. *中国地质*, 40(1): 248-272.
- 张位及. 1984. 试论滇东北铅锌矿床的沉积成因和成矿规律[J]. *地质与勘探*, 7: 11-16.
- 张艳, 韩润生, 魏平堂, 邱文龙. 2015. 云南昭通铅锌矿 pH-log $f_{O_2}$  和 pH-log $a$  相图对铅锌共生分异的制约[J]. *中国地质*, 2: 607-620.
- 赵准. 1995. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式[J]. *云南地质*, 14(4): 364-376.

## 附中文参考文献

- 陈进. 1993. 麒麟厂铅锌硫化矿床成因及成矿模式探讨[J]. *有色金属矿产与勘查*, 2: 85-90.
- 陈士杰. 1986. 黔西滇东北铅锌矿成因探讨[J]. *贵州地质*, 8(3): 41-48.
- 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 李元, 陈进. 2000. 云南会泽富锗银铅锌矿床构造控矿及断裂构造岩稀土元素组成特征[J]. *矿物岩石*, 20(4): 11-18.
- 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 陈进, 马德云, 李元. 2001. 论云南会泽富铅