

# 云南东川大笑铅锌矿床矿物学特征与成矿温度

依阳霞, 高建国, 王文元, 陈欣彬

NONG Yangxia, GAO Jianguo, WANG Wenyuan, CHEN Xinbin

昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093

Department of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China

**摘要:**云南东川大笑铅锌矿床地处康滇地轴中段东沿的次一级隆起上,矿体赋存于白河厂背斜轴部南翼昆阳群望厂组的层间裂隙及羽状裂隙中,呈脉状、似层状产出。矿石矿物主要为方铅矿、银和少量闪锌矿、黄铁矿,脉石矿物主要为石英、方解石。矿石结构以自形-半自形-他形粒状结构、交代残余结构、变晶结构为主。矿石构造以浸染状、块状、条带状、脉状构造为主。成矿作用划分为热液成矿期与表生氧化期,其中热液成矿期划分为3个成矿阶段,第二成矿阶段为铅锌的主要成矿阶段,成矿温度为140~220℃,成矿时代为印支晚期。工业矿体的形成是在印支运动强大的作用力驱动下,成矿元素活化-混合-迁移-聚集成矿,矿床成因类型为沉积-改造热液矿床。

**关键词:**矿床地质特征;矿物学特征;成矿作用;沉积-改造热液矿床;云南东川

**中图分类号:**P618.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)06-1077-11

**Nong Y X, Gao J G, Wang W Y, Chen X B. An analysis of mineralogical characteristics and mineralization temperature of the Daxiao Pb-Zn deposit in Dongchuan, Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(6):1077-1087**

**Abstract:** The Daxiao Pb-Zn deposit is located on the secondary level uplift along the middle east part of the Kang-Dian axis, in Dongchuan, Yunnan Province. Its orebodies show veined and stratoid forms, and occur in interstratified crack and plume-like fracture of Wangchang Formation in Kunyang Group which lies in the south of Baihechang anticline. The ore minerals are composed of galena, native silver and a small quantity of sphalerite and pyrite, and the gangue minerals include quartz and calcite. Their textures mainly consist of euhedral-subhedral-anhedral granular texture, metasomatic relict texture and crystalloblastic texture, while main structures are disseminated structure, massive structure, banded structure and vein structure. Mineralization of this deposit could be divided into hydrothermal metallogenesis and supergenetic oxidation period, the former was made of three mineralization stages and the most important stage for Pb-Zn was the second stage, its metallogenic temperature ranged from 140℃ to 220℃, while metallogenic epoch was late Indosinian. Industrial ore was formed by the driving force of Indosinian movement that prompted activation - mixing - migration - accumulation of ore-forming elements to form the deposit. The genetic type of the ore deposit belongs to sedimentary reformation hydrothermal ore deposit.

**Key words:** geological characteristics of the deposit; mineralogical characteristics; mineralization; sedimentary reformation hydrothermal ore deposits; Dongchuan; Yunnan Province

云南东川地处扬子板块西缘康滇地轴云南段北端的南北向小江断裂、普渡河断裂与东西向宝九断裂夹持的中新元古代断隆地块内(昆阳裂谷系),特定的成矿地质背景导致铜、金、铁金属巨量聚

集。数十年来,不同的科研院所与勘查单位围绕铜、铁、金矿产及其地质特征进行了深入研究,取得丰硕成果<sup>[1-13]</sup>。同时,矿产勘查过程发现了古元古界昆阳群、震旦系灯影组与寒武系中存在铅

收稿日期:2016-02-16;修订日期:2016-09-22

资助项目:国家自然科学基金项目《滇中碳酸盐岩型铅锌矿床流体混合成矿机理研究》(批准号:41272111)

作者简介:依阳霞(1993-),女,在读硕士生,从事矿物岩石研究。E-mail:1255367256@qq.com

通讯作者:高建国(1954-),男,博士生导师,从事矿产地质与勘查研究。E-mail:335150686@qq.com

锌工业矿床<sup>[14-22]</sup>。而对铅锌矿床的研究程度较低,缺乏对矿床成因规律、成矿作用等方面的系统总结与分析。本文优选区内代表性的大笑铅锌矿床作为研究对象,以矿床地质特征为基础,宏观与微观相结合,分析矿物学特征、矿物生成顺序及流体包裹体特征,剖析矿床成矿作用,为区内铁铜金铅锌等金属矿床不同赋存层位、成矿流体来源与成矿作用,以及成矿系列的建立提供科学依据。

### 1 矿床地质概况

大笑碳酸盐岩型铅锌矿床区域出露地层由老至新为下震旦统昆阳群(Pt<sub>1</sub>)、下震旦统澄江组(Zac)、上震旦统灯影组(Zbdn)、下寒武统(ε<sub>1</sub>)、下二叠统(P<sub>1</sub>)、上二叠统峨眉山玄武岩组(P<sub>2</sub>β)、上三叠统一侏罗统(T<sub>3</sub>-J<sub>1</sub>)、中侏罗统益门组(J<sub>1y</sub>)和第四系(Q)(图1)。矿区内出露地层为昆阳群黑山组(Pt<sub>1</sub>hs)与大营盘组(Pt<sub>1</sub>dy)。黑山组为深灰色、灰黑

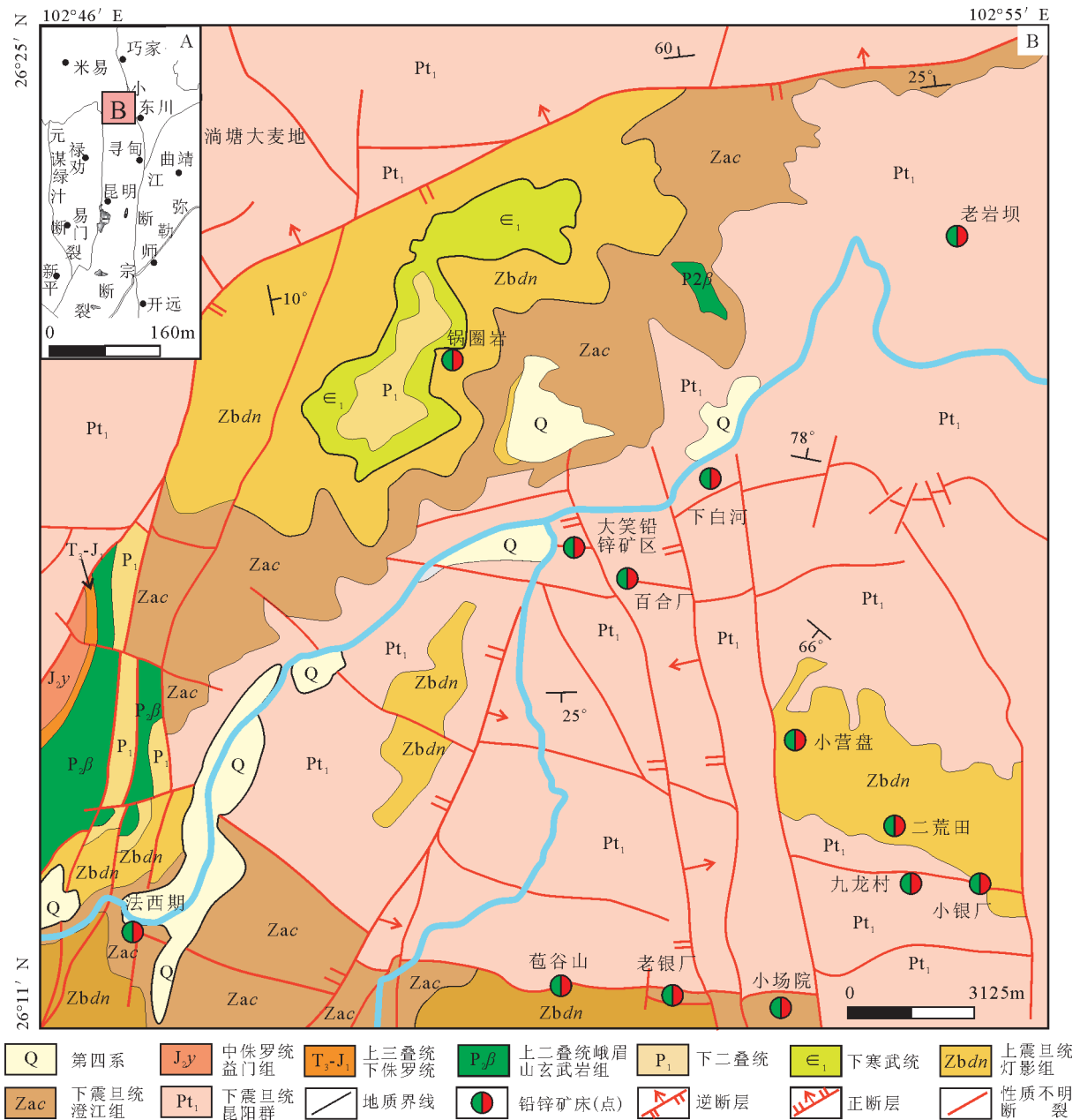


图1 大笑铅锌矿床区域地质略图

Fig.1 Regional geological map of the Daxiao Pb-Zn deposit

色、薄-中厚层状白云岩、中厚层状炭泥质白云岩、板岩、薄-中厚层状板岩,风化后呈黑绿色、灰绿色、灰白色等杂色板岩。大营盘组为黑色、灰黑色、深灰色薄层含炭质板岩、条带状板岩、千枚状板岩,中-上部夹泥质白云岩、泥灰岩、石英砂岩,下部可见铁质板岩。

矿区处于宝九大断裂的北端与金沙江断裂的交会处,区内发育多组断裂,南边是近东西向的肖家沟断裂,北边是北东向的田坝沟断裂,其间发育多组不对称褶皱和断裂构造。岩层总体呈背斜产出,轴向为向北西-南东,向北西倾伏,构成白河厂背斜。

矿体赋存在白河厂背斜轴部南翼的昆阳群黑山组炭泥质白云岩、板岩中,受层间断裂构造与裂隙构造控制较明显,矿体成群出现,空间上呈断续羽状排列,沿背斜轴部及背斜南西翼分布,分布范围北西长约 1200m,南北宽约 500m。目前,已发现 I、II、III、IV、V 5 个铅锌工业矿体,其特征见表 1。围岩蚀变可见硅化、黄铁矿化、铁锰碳酸盐化。

## 2 矿物学特征

### 2.1 矿石矿物组成

矿石中原生金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿,少量辉银矿、锐钛矿,次生矿物为褐铁矿、铅矾、白铅矿、菱锌矿、硬锰矿、孔雀石等;脉石矿物主要为石英、方解石等(图版 I~IV)。

闪锌矿:多呈不规则他形粒状集合体,呈斑杂状-细脉状分布,斑点大小不一(0.05~10.00mm),且分布不均匀。含乳浊状黄铜矿不混溶包体,常被方铅矿穿插交代,早于方铅矿形成(图版 II-C),粒径为 0.01~0.50mm,含量一般为 3%~5%,部分矿石含量可达约 20%。

表 1 大笑铅锌矿矿体基本特征

Table 1 The basic characteristics of orebodies of the Daxiao Pb-Zn deposit

矿体 编号	长度 /m	厚度变化/m		Pb 品位变化/%		产状	
		范围	平均	范围	平均	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$
I	301	4.8~5.2	5.03	18.30~31.60	26.80	260	75~80
II	156	5.0~5.3	4.50	31.50~33.20	32.69	315	75~80
III	147	3.2~5.1	3.97	19.40~32.30	28.39	265	75~80
IV	84	3.5~5.3	4.00	20.00~34.20	31.10	268	75~80
V	145	2.0~6.5	4.43	21.00~34.60	31.27	250	75~80

黄铁矿:形成有 2 期,各期形成的黄铁矿特征如下。第一期黄铁矿形成较早,呈他形-半自形-自形细粒,可见四边形、五边形、六边形的自形晶切面,星散分布于围岩及闪锌矿中,常被方铅矿、闪锌矿及黄铜矿穿插、胶结、包裹,有被溶蚀交代现象(图版 II-A、B),粒径一般为 0.02~0.15mm,少数可达 0.50~1.00mm。第二期黄铁矿形成较晚,呈他形微粒状,呈细脉穿插于黄铜矿、方铅矿、闪锌矿中,为晚形成的原生金属硫化物(图版 II-F),粒径小于 0.01mm,含量低。

黄铜矿:根据镜下黄铜矿的特征,将矿区内黄铜矿的形成划分为 2 期。第一期黄铜矿:由于固溶体分解形成乳浊状黄铜矿,分布于闪锌矿中,黄铜矿和闪锌矿同时形成(图版 II-E)。第二期黄铜矿:常呈他形粒状集合体沿裂隙及其他硫化物的边缘分布,可见穿插交代方铅矿及闪锌矿的现象(图版 II-C)。粒径一般为 0.01~2.00mm,含量少。

辉银矿:常呈乳浊状出溶物分布于方铅矿中,粒径小于 0.01mm,含量极少(图版 II-D)。

锐钛矿:呈柱状,锥柱状星散分布,局部集中成群出现(图版 II-G)。粒径一般在 0.02~0.04mm 之间,含量少。

白铅矿:常呈团块状、网脉状及脉状沿方铅矿、铅矾的边缘、解理及裂隙交代,包含方铅矿残余体,或与方铅矿相间呈条纹状产出(图版 II-I)。粒径一般为 0.01~0.05mm,含量约为 5%。

铅矾:沿方铅矿边缘交代,呈韵律状皮壳构造(图版 III-H),含量约为 5%。

菱锌矿:常呈他形粒状集合体,沿裂隙孔洞充填,形成皮壳状、同心环带状等变胶状构造(图版 II-J)。粒径一般为 0.02~0.05mm。

褐铁矿:沿裂隙孔洞呈不规则状、网状分布,具胶状环带(图版 II-J、K)和多孔状构造,并含有闪锌矿、黄铁矿、方铅矿残余体。

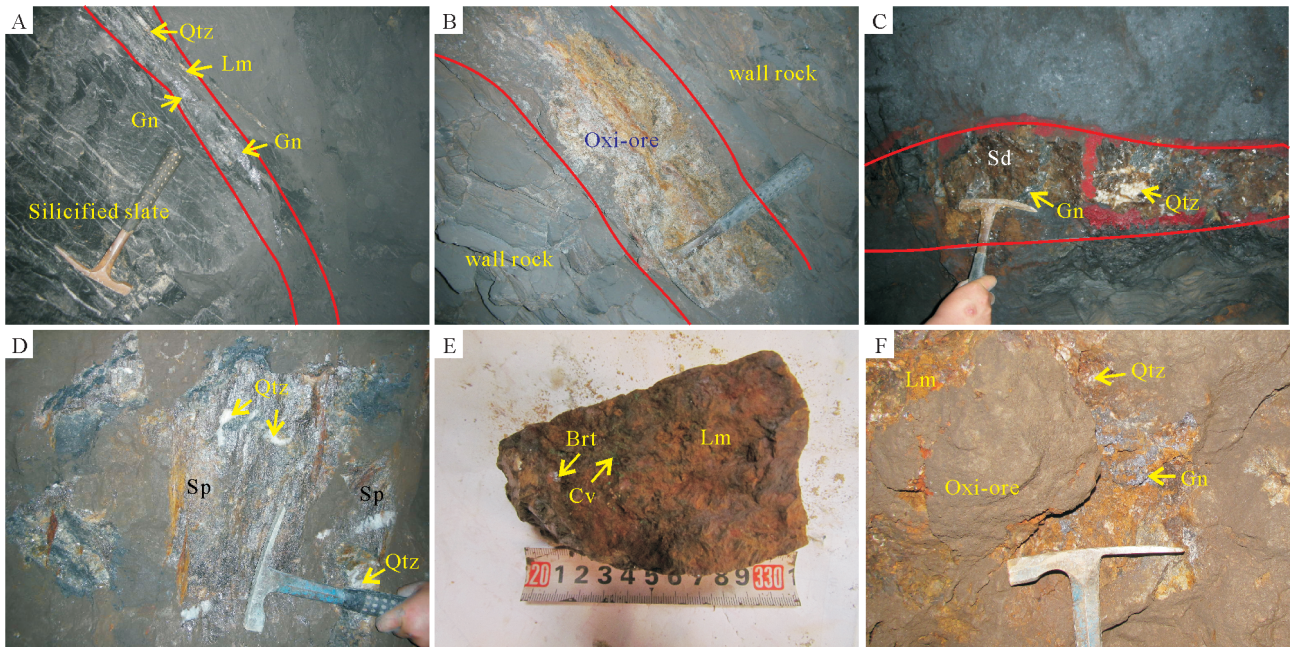
硬锰矿:呈胶体和晶质产出,胶体具胶状同心环带构造;晶质者呈细粒状、针状集合体,构成葡萄状、皮壳状、同心环带状等变胶状构造。二者常与褐铁矿互层交替产出,构成环带构造(图版 II-K)。

### 2.2 矿石结构构造

#### 2.2.1 矿石结构

矿石的结构主要有自形-半自形-他形粒状、溶蚀残余、交代残余交叉、乳浊状、叶片状、变晶、压

图版 I Plate I



A. 矿物方铅矿-石英,局部见褐铁矿化围岩发生硅化(Silicified slate); B. 构造破碎带中的氧化矿石与围岩(Wall rock)界线清晰; C. 石英-方铅矿-菱铁矿; D. 闪锌矿-石英; E. 矿石表生氧化为褐铁矿化-孔雀石化,见重晶石; F. 氧化矿石。  
Gn—方铅矿; Qtz—石英; Lm—褐铁矿化; Oxi-ore—氧化矿石; Sd—菱铁矿;  
Sp—闪锌矿; Cv—孔雀石化; Brt—重晶石

碎、填隙、固溶体分解和网状结构。

(1) 他形-半自形粒状结构: 他形-半自形粒状方铅矿、黄铁矿呈星点状或集合体产于围岩或闪锌矿中(图版 II-L、图版 III-A)。

(2) 自形结构: 锐钛矿呈柱状、锥柱状自形晶(图版 II-G)。

(3) 溶蚀残余结构: 黄铁矿呈半自形-自形细粒状星散分布, 被方铅矿、闪锌矿穿插交代, 呈溶蚀残余结构(图版 III-A)。

(4) 交代残余结构: 方铅矿被次生矿物白铅矿穿插交代形成交代残余结构(图版 II-I)。

(5) 乳浊状-叶片状结构: 闪锌矿呈不规则的他形粒状集合体沿围岩的裂隙充填交代, 其内含有被溶蚀的半自形细粒黄铁矿, 以及后形成的乳浊状、叶片状微量黄铁矿(图版 III-B)和叶片状黄铜矿(图版 II-C)。

### 2.2.2 矿石构造

矿石的构造主要有网脉状、脉状、浸染状、星点状、胶状、皮壳状、块状、同心环带状、多孔状和土状构造。

(1) 网脉状构造: 闪锌矿呈细脉穿插交代围岩, 构成网脉状构造(图版 III-F)。

(2) 细脉-浸染状构造: 方铅矿呈他形细粒状沿围岩裂隙及非金属矿物的粒间分布, 呈脉状-浸染状构造(图版 III-I、图版 IV-A、B)。

(3) 星点状、浸染状构造: 锐钛矿、黄铁矿星点分布于围岩或闪锌矿中, 形成星点状、浸染状构造(图版 III-G、图版 IV-C)。

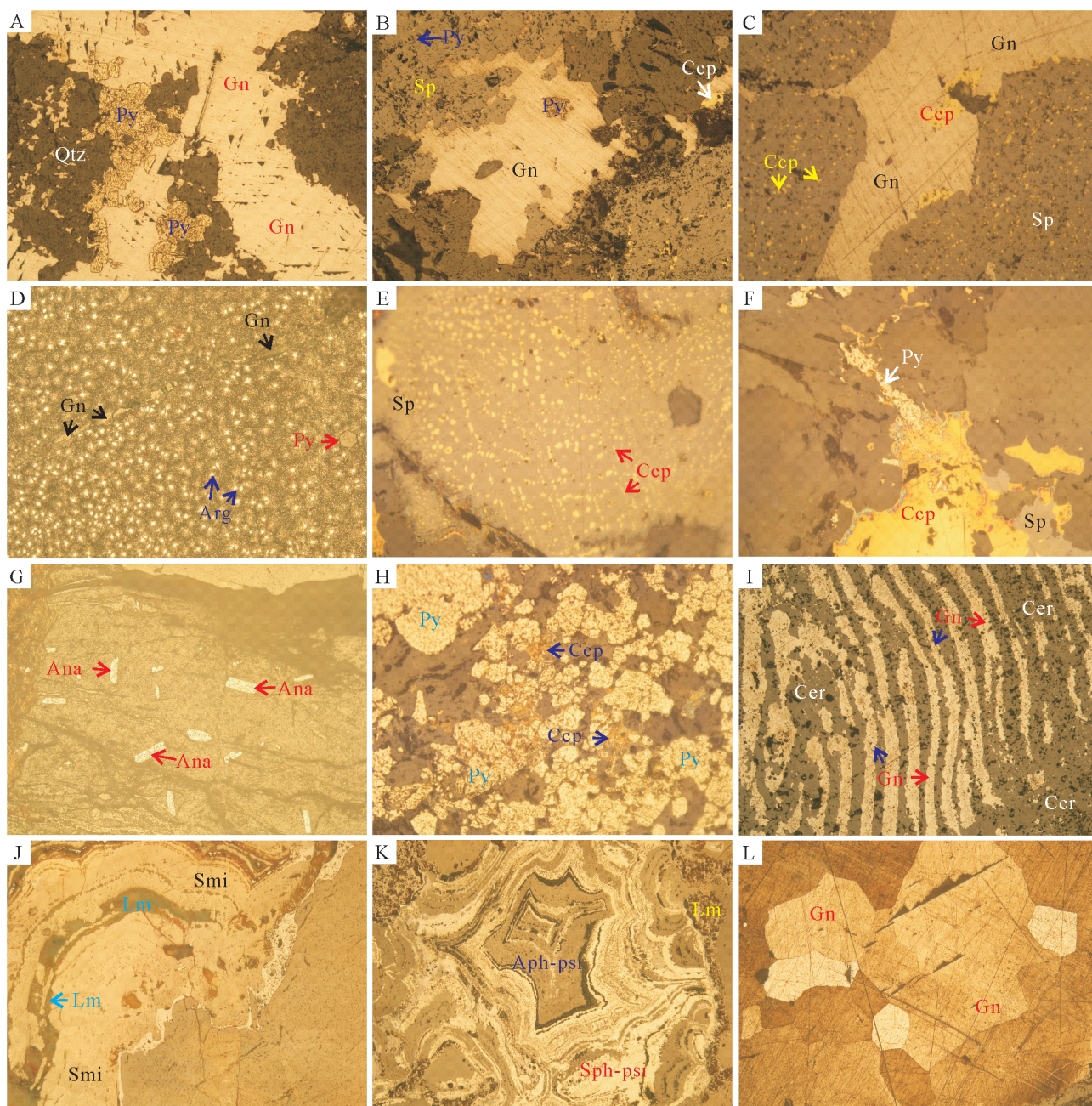
(4) 皮壳状构造: 方铅矿因表生风化, 形成铅矾、白铅矿, 铅矾、白铅矿沿方铅矿的边缘交代, 呈韵律状皮壳分布于方铅矿的周边, 形成皮壳状构造(图版 III-E、H)。

(5) 胶状-土状-多孔状构造: 次生矿物褐铁矿呈不规则状分布, 具胶状、土状及多孔状构造(图版 II-J、图版 IV-D)。

(6) (团)块状构造: 方铅矿呈团块状分布于围岩中(图版 IV-E、F)。

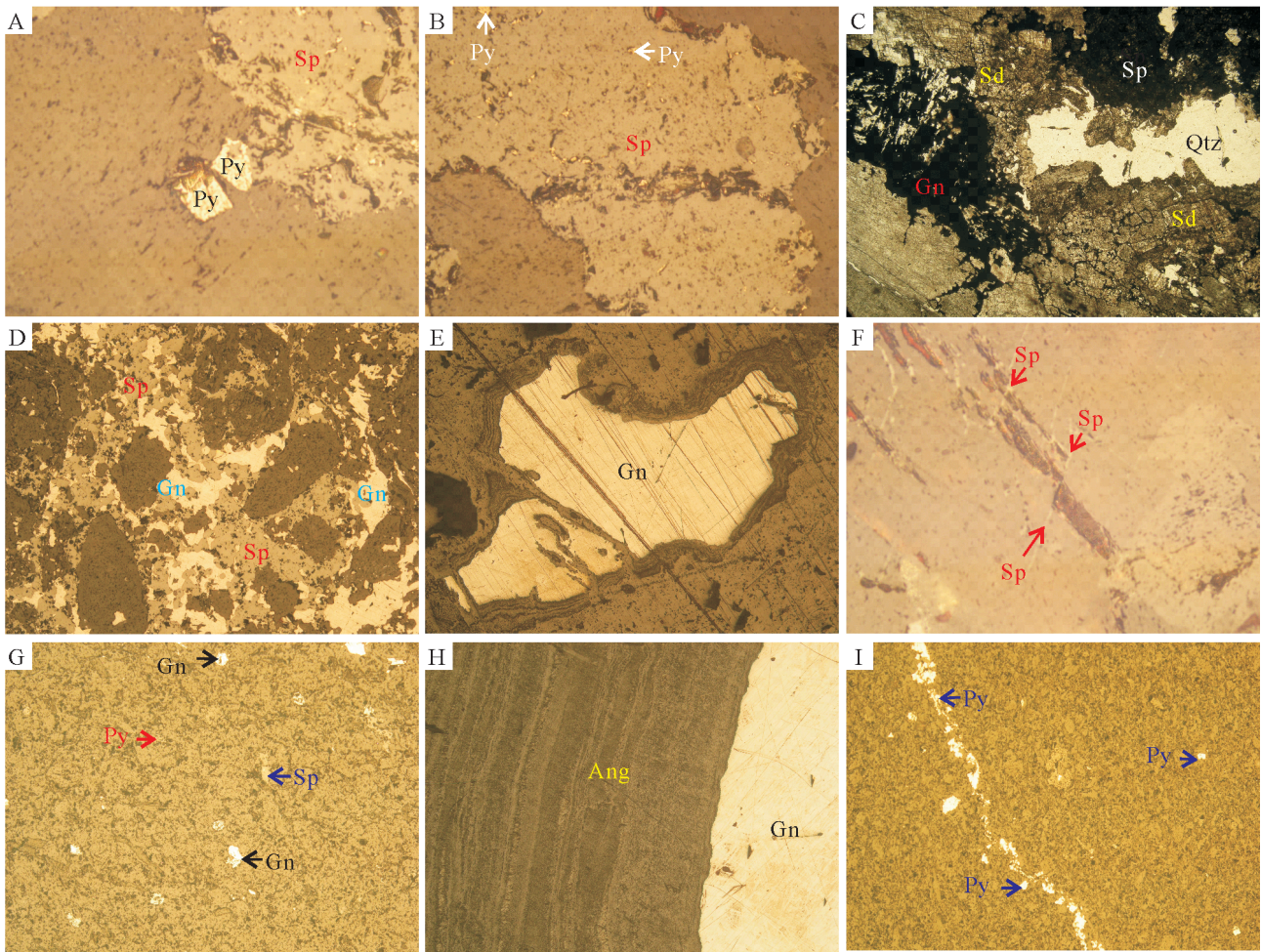
(7) 同心环带构造: 锰矿呈细针状及细粒状集合体形成变胶状同心环带构造(图版 II-K)。

图版 II Plate II



A.方铅矿-黄铁矿沿石英裂隙网状充填,呈网状构造,方铅矿穿插交代黄铁矿;B.闪锌矿被方铅矿穿插交代,呈溶蚀-残余结构。闪锌矿及方铅矿中均含有黄铁矿残余体,闪锌矿中局部含有乳浊状黄铜矿;C.方铅矿穿插交代闪锌矿,同时又被黄铜矿穿插交代;D.辉银矿呈乳浊状出溶物分布于方铅矿中(1:1 HNO<sub>3</sub> 浸染显现),方铅矿中有自形黄铁矿;E.黄铜矿呈乳浊状不溶体分布于闪锌矿中,构成固溶体分解结构;F.微粒状黄铁矿呈细脉状穿入黄铜矿中;G.锐钛矿呈柱状-锥柱状自形晶,呈散分布;H.黄铜矿沿碎裂带黄铁矿的裂隙分布,呈网状结构;I.白铅矿沿方铅矿的解理交代呈条纹状残余结构;J.菱锌矿呈他形粒状集合体构成皮壳、同心环带等变胶状构造,外围为褐铁矿;K.胶状隐晶硬锰矿、晶质硬锰矿构成同心环带构造,外围为褐铁矿;L.方铅矿呈他形-半自形粒状集合体分布。  
Gn—方铅矿;Qtz—石英;Sp—闪锌矿;Py—黄铁矿;Ccp—黄铜矿;Ana—锐钛矿;Arg—辉银矿;  
Cer—白铅矿;Smi—菱锌矿;Lm—褐铁矿;Aph-psi—隐晶硬锰矿;Sph-psi—晶质硬锰矿

图版 III Plate III



A.半自形-自形黄铁矿被闪锌矿交代,呈溶蚀残余结构;B.闪锌矿呈他形粒状集合体沿围岩的裂隙充填交代,其内含有被溶蚀的半自形细粒黄铁矿及后期形成的乳浊状、叶片状微量黄铁矿;C.压碎粗晶的菱铁矿,压碎粒间有方铅矿、闪锌矿、石英充填;  
D.闪锌矿-方铅矿他形细粒状分布于非金属矿物粒间,呈填隙结构,方铅矿穿插闪锌矿;E.铅矾呈韵律状皮膜包围方铅矿,外围为白铅矿;F.闪锌矿呈细脉穿插交代围岩,构成网脉状构造;G.方铅矿、闪锌矿、黄铁矿均呈他形细粒状,星散分布;U.铅矾沿方铅矿边缘交代,呈韵律状皮壳包围方铅矿,呈皮壳构造;V.方铅矿呈细脉状、星点浸染状分布。

Py—黄铁矿;Sp—闪锌矿;Sd—菱铁矿;Gn—方铅矿;Qtz—石英;Ang—铅矾;Cer—白铅矿

### 2.3 矿物生成顺序

根据矿石结构、矿物组合及矿物穿插关系,结合区域构造演化过程,将大笑铅锌矿床成矿作用划分为热液成矿期与表生氧化期(表2)。

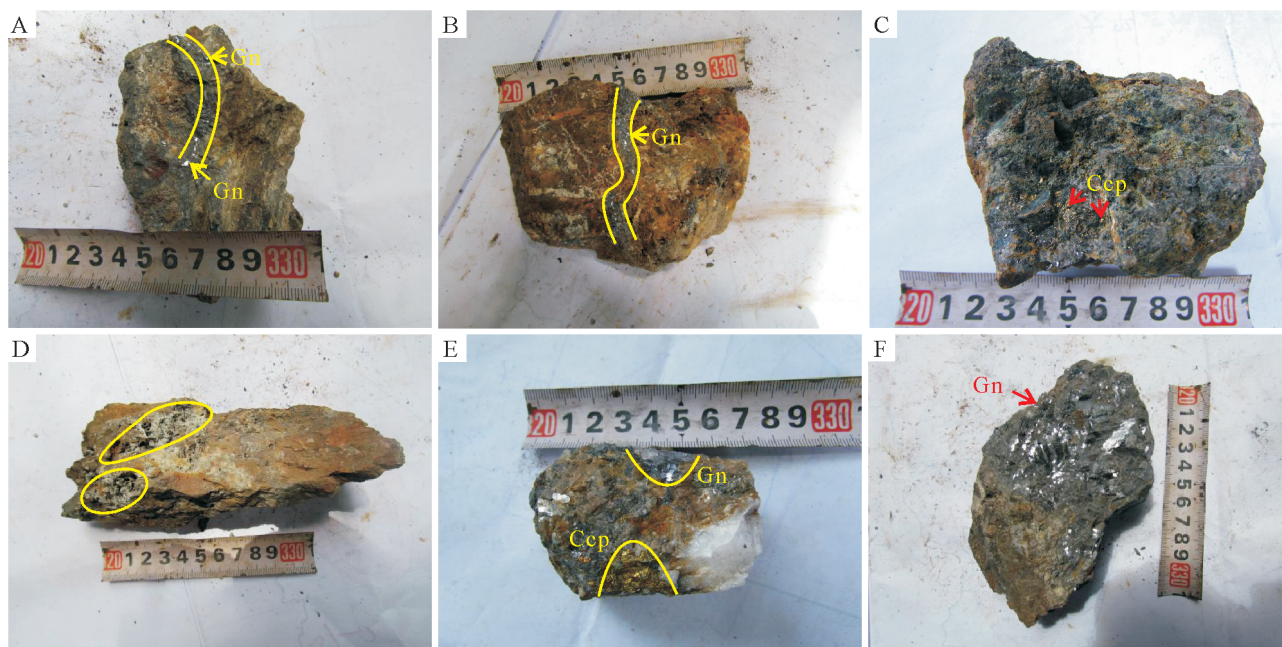
热液成矿期为铅锌矿的主成矿期,矿脉主要充填于张性裂隙中,石英脉呈乳白色及烟灰色,氧化面呈黄褐色,可划分为3个成矿阶段。

(1)石英-细中粒自形黄铁矿-粗粒菱铁矿阶段:由石英、黄铁矿、菱铁矿等矿物构成的细脉沿岩层裂隙呈脉状分布。

(2)闪锌矿-黄铜矿-方铅矿-石英阶段:方铅矿与闪锌矿紧密共生,除有共结边外,方铅矿穿插交代闪锌矿现象较普遍,二者为超覆生成关系。黄铜矿呈乳浊状、叶片状分布于闪锌矿中,为固溶体分解作用形成。闪锌矿、方铅矿中常穿插、包裹黄铁矿。方铅矿中含有辉银矿,石英、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等形成的矿脉沿着压碎的菱铁矿裂隙充填。

(3)黄铜矿-黄铁矿阶段:黄铜矿常呈他形粒状集合体穿插方铅矿,并可见黄铜矿沿其他硫化物的

图版 IV Plate IV



A.脉状方铅矿;B.脉状方铅矿;C.黄铜矿呈星点浸染状产出;D.矿体出露地表风化为多孔状;  
E.团块状方铅矿、黄铜矿;F.块状方铅矿。Gn—方铅矿;Ccp—黄铜矿

边缘分布。微粒状黄铁矿呈细脉状穿入黄铜矿中,微粒黄铁矿形成于黄铜矿后。

表生氧化期:由于构造运动,原生矿体出露地表,原生矿石中的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿等硫化矿被淋滤氧化,最终形成褐铁矿、铅矾、白铅

矿、菱锌矿、孔雀石等次生氧化矿。

### 3 矿物包裹体特征

大笑碳酸盐岩型铅锌矿床脉石矿物石英中的包裹体为气-液两相包裹体,气相分数一般为5%~

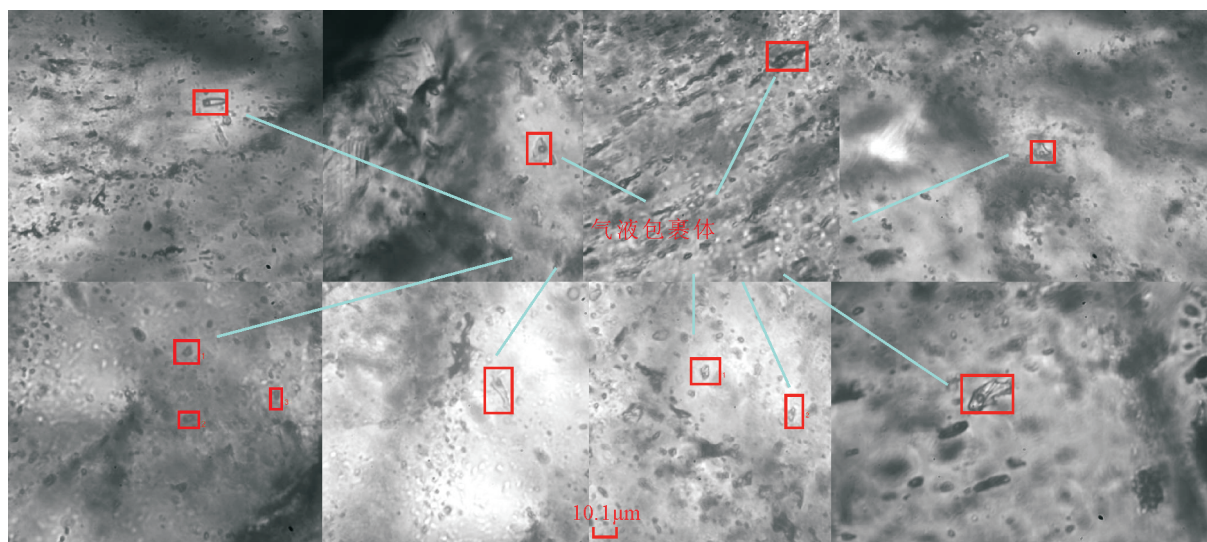


图2 大笑铅锌矿床流体包裹体镜下特征

Fig. 2 Characteristics of fluid inclusions of the Daxiao Pb-Zn deposit

50%,多数集中于10%~20%之间。包裹体形态多为椭圆形、不规则多边形等,大小一般为2~12 μm,多在3~11 μm之间,占包裹体总数的60%以上(图2)。气相一般呈圆球形气泡,温度随气液比增加而升高。本次选取原生石英包裹体87个点进行测试,结果见表3。由表3可知,所有样品流体包裹体的完全均一温度变化范围为86.90~261.00℃,均一温度主要集中在140~220℃之间(图3)。样品流体包裹体盐度变化范围为0.90%~19.47%NaCl,主要集中在1%~5%NaCl之间。密度变化范围为0.82~1.05g/cm<sup>3</sup>,主要分布于0.90~1.00g/cm<sup>3</sup>之间。成矿压力变化范围为73.72×10<sup>5</sup>~269.62×10<sup>5</sup>Pa,平均成矿压力为166.06×10<sup>5</sup>Pa。成矿深度变化范围为250~900m,平均深度为554m。这与实际地质情况吻合,均一温度随气液比增加而升高,推测气体包裹体是在开放系统低压高沸腾的物理化学状态下形成的。综上所述,该矿床属于中-低温、低盐度、低密度热液地壳浅部环境下沉淀就位成矿。

### 4 讨论

#### 4.1 矿物学特征的成因意义

矿床宏观特征显示,矿体具有脉状、网脉状、浸染状构造等。同时,镜下微观特征显示矿石多以交代残余、溶蚀残余、固溶体分离等结构产出,这些均为热液成矿作用的特征组构。此外,矿石矿物组合为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、少量辉银矿等,进一步证明成矿作用为中低温热液成矿。

黄铁矿与黄铜矿均具有2种不同的产出方式,黄铁矿以半自形-自形的较大颗粒和他形的微细粒状产出,粒度变小,自形程度降低;黄铜矿以固溶体形式和他形粒状交代其他矿物的形式产出,反映了成矿过程中成矿物理化学条件的变化,褐铁矿、白铅矿、孔雀石等为氧化条件下形成的特征矿物。以上说明,矿床形成经历了多期多阶段的成矿作用。

矿区围岩蚀变可见黄铁氧化、硅化、碳酸盐化。黄铁氧化有2期,范围较广,前期黄铁矿零星分

表2 云南东川大笑铅锌矿床矿物生成顺序  
Table 2 Mineral formation sequence of the Daxiao Pb-Zn deposit in Dongchuan, Yunnan Province

矿物名称	热液成矿期			表生氧化成矿期
	Rb-Sr同位素计算年龄为227±36Ma			
	成矿温度为140~220℃			
	I成矿阶段	II成矿阶段	III成矿阶段	
石英				
黄铁矿				
黄铜矿				
闪锌矿				
方铅矿				
菱铁矿				
菱锌矿				
褐铁矿				
异极矿				
白铅矿				
铅矾				
硬锰矿				
孔雀石				
主要结构构造与特征	黄铁矿呈细粒自行-半自形晶,菱铁矿为粗晶颗粒,黄铁矿、菱铁矿、石英组成对的裂隙呈细脉状分布	不规则他形粒状闪锌矿、方铅矿集合体状呈细脉状分布于压碎菱铁矿中,闪锌矿含乳浊状不混融黄铜矿。方铅矿晚于闪锌矿形成	黄铜矿呈他形粒状产出于方铅矿中,黄铁矿呈他形细粒状产出,总体呈脉状穿插于黄铜矿中,形成晚于黄铜矿	原生硫化物经氧化形成褐铁矿、铅矾、白铅矿、菱锌矿、硬锰矿等次生氧化矿,呈蜂窝状、土状、皮壳状构造产出



表 3 云南东川大笑铅锌矿床气液两相包裹体冰点温度、均一温度及有关参数

Table 3 The parameters of inclusions of the Daxiao Pb-Zn deposit in Dongchuan, Yunnan Province

样品编号(包裹体个数)	冰点温度/°C	均一温度/°C	盐度/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	压力/10 <sup>6</sup> Pa	深度/km
D-51(8)	-0.80~-2.00	150.80~186.80	1.45~3.74	0.90~0.94	107.70~127.54	0.36~0.43
	-1.34	163.58	2.47	0.93	116.56	0.39
D-52(6)	-2.8~-7.6	86.9~167.4	5.34~16.33	0.99~1.02	73.72~206.53	0.25~0.69
	-4.93	130.77	10.14	1.01	138.76	0.46
D-53(6)	-8.40~-0.70	148.10~225.20	1.27~18.40	0.91~1.05	111.70~269.62	0.37~0.90
	-5.52	172.9	11.78	0.98	182.87	0.61
D-50(1)	-3.2	192	6.17	0.92	169.64	0.57
D-54(6)	-3.6~-6.8	121.8~185.5	7.01~14.32	0.96~0.99	111.83~219.84	0.37~0.73
	-5.13	164.8	10.47	0.98	174.54	0.58
D-55(7)	-1.3~-2	194.00~223.00	2.39~3.74	0.86~0.90	146.64~166.93	0.49~0.56
	-1.62	212.44	3	0.87	157.33	0.52
D-55-1(2)	-1.8~-2.0	182~193.6	3.35~3.74	0.90~0.91	137.92~150.27	0.46~0.50
	-1.9	187.8	3.55	0.91	144.1	0.48
D-56(2)	-1.2~-2.2	157~198	2.2~4.14	0.89~0.94	124.73~138.94	0.42~0.46
	-1.7	177.5	3.17	0.91	131.84	0.44
D-56-1(1)	-2	180	3.74	0.92	139.72	0.47
D-57(16)	-1.20~-4.00	148~261	2.2~7.86	0.83~0.96	119.29~226.03	0.40~0.75
	-2.9	180.9	5.58	0.93	155.23	0.52
D-58(2)	-1.20~-0.70	174.8~180.4	1.27~2.2	0.90~0.91	117.98~122.66	0.41~0.39
	-0.95	177.6	1.74	0.91	120.32	0.4
D-59(8)	-1.90~-1.00	174.7~245.00	1.82~3.55	0.82~0.91	119.28~167.27	0.40~0.56
	-1.3	201.07	2.4	0.88	142.43	0.47
D-60(2)	-1.2~-1.3	205.5~226.7	2.2~2.39	0.85~0.88	146.15~159.08	0.49~0.53
	-1.25	216.1	2.3	0.86	152.61	0.51
D-61(8)	-1.80~-0.50	148~176	0.9~3.35	0.92~0.93	93.92~133.38	0.31~0.44
	-1.15	162	2.13	0.93	113.65	0.38
D-62(8)	-1.70~-1.10	114.8~136	2.01~3.16	0.95~0.97	82.72~99.27	0.28~0.33
	-1.48	122.96	2.74	0.96	89.43	0.3
D-63(1)	-1.4	165.7	2.58	0.92	119.4	0.4
D-64(9)	-6.70~-5.80	173.5~201.3	11.92~14.08	0.97~0.98	190.59~235.01	0.64~0.78
	-6.13	182.87	12.72	0.98	205.96	0.69
D-65(10)	-8.80~-4.70	152.2~180.5	9.40~19.47	0.96~1.04	179.97~233.17	0.60~0.78
	-6.99	170.15	14.88	1.01	201.92	0.67
D-66(6)	-5.20~-8.80	143.50~193.2	10.53~19.47	0.99~1.05	150.81~247.97	0.50~0.83
	-6.98	164.58	14.9	1.01	196.14	0.65
D-67(1)	-5	176.9	10.07	0.96	183.07	0.61
D-68(10)	-7.40~-6.10	152.4~216.50	13.11~15.82	0.95~1.01	173.30~249.49	0.58~0.83
	-6.58	187.43	13.79	0.98	217.16	0.72
D-69(1)	-4.1	229.2	8.08	0.89	220.18	0.73
D-70(2)	-4.50~-8.20	210.80~215.10	8.96~17.88	0.92~0.99	213.80~269.08	0.71~0.90
	-6.35	212.95	13.42	0.95	241.44	0.8
D-72(12)	-5.8~-3.5	146~258	6.8~11.92	0.84~1.01	160.38~234.67	0.53~0.78
	-4.64	197.8	9.3	0.93	196.54	0.66
D-73(7)	-7.7~-2.1	153.9~204.5	3.94~16.58	0.91~1.03	145.84~198.16	0.49~0.66
	-4.67	181.37	9.61	0.96	178.33	0.59

注:流体包裹体分析由中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室完成

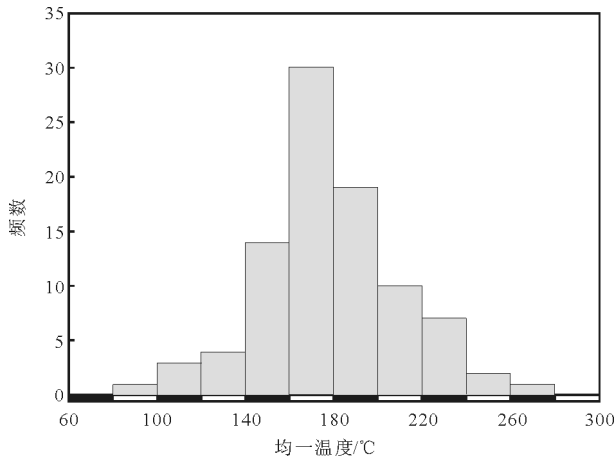


图3 大笑铅锌矿床包裹体均一温度柱状图

Fig. 3 Homogenization temperature histogram of the Daxiao Pb-Zn deposit

布于围岩或后期金属矿物中,可见被后期矿物交代或包裹;后期黄铁矿呈细脉状产出,交代早期金属硫化物。硅化相对集中,且多呈显微粒状,局部与泥质构成纹层状构造。矿区碳酸盐化产于局部区域。蚀变处可见矿化。黄铁矿化范围较广,可通过圈定黄铁矿化缩小找矿范围,寻找硅化及碳酸盐化可锁定局部矿化区域,为进一步找矿提供依据。

矿区产于两大断裂的交会处,断裂和褶皱较发育,为成矿流体提供了良好的运移通道和富集空间,同时,矿体的形态受构造控制显著,多充填裂隙呈脉状、网脉状产出。

#### 4.2 包裹体特征的成因意义

矿物中的包裹体有椭圆等较规则的形状,也有呈不规则多边形产出者,其形状的多样性说明了成矿作用的多期、多阶段性<sup>[23]</sup>。从图3可知,矿床成矿温度频数统计以160~180°C为顶峰,呈两边互不对称的塔式分布,说明矿化发生时间相对集中<sup>[23]</sup>。

前人研究表明<sup>[24]</sup>,在流体混合过程中捕获的流体包裹体均一温度与盐度,以及盐度与焓值在一定程度上均表现为正相关关系,文中用所测得石英中流体包裹体的盐度和均一温度做了盐度-均一温度双变量散点图(图4),大致显示盐度与均一温度具正相关关系,推测原始的成矿流体与较冷的、盐度低的流体,如大气降水,发生了混溶<sup>[25]</sup>,使成矿条件改变,促进成矿作用的进行。

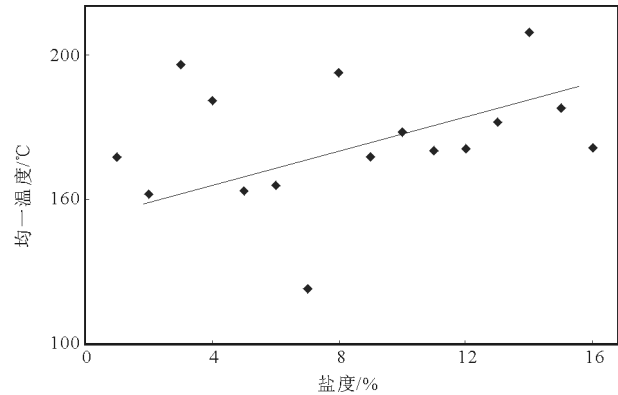


图4 大笑铅锌矿床石英中流体包裹体盐度-均一温度双变量散点图

Fig. 4 Homogenization temperature versus salinity diagram of fluid inclusions in quartz from the Daxiao Pb-Zn deposit

#### 4.3 成矿作用讨论

矿区赋矿地层为元古宇,具有特定的成矿地质背景。该区元古宙火山活动频繁,早期以基性为主、晚期以中酸性为主,广泛分布于各时代地层中,具有明显的多旋回性和空间分布不均匀性<sup>[12, 26-28]</sup>。同时,Pb、Zn、Ag等成矿元素的背景值高于地壳丰度值数倍至数十倍<sup>[29]</sup>。区内印支期大规模的地幔玄武岩岩浆的喷溢、喷发和辉绿岩体的侵入共同产生的巨大能量,激化赋存于地层中的Pb、Zn、Ag等成矿元素迁移,进入层间水和向下渗透的大气降水,使形成的含矿热卤水溶液囚于地壳深部,区域性同生断层的复活和继承性活动,在断陷盆地边缘形成对流循环系统,并不断萃取、溶解高背景地层中的Pb、Zn、Ag等矿质,形成矿化浓度较高的成矿流体。在构造动力、热动力的驱动下,成矿流体沿深切地幔的小江断裂和宝九断裂构造系统,以及次级牛厂坪断裂、四棵树一面山断裂、黄水管断裂向上迁移,向减压空间次一级断裂破碎带及层间裂隙快速迁移、喷溢、沉淀,形成富矿体。目前,据野外与室内观察看,地层中除个别层位可见黄铁矿外,尚未见到沉积铅锌矿化体。铅锌矿化赋存于昆阳群黑山组炭泥质白云岩、板岩的层位中,受层间断裂构造与裂隙构造控制较明显,矿体呈群出现,空间上呈断续羽状排列。矿石矿物较简单,与脉石矿物形成于不同的成矿阶段。

## 5 结 论

(1)铅锌矿床赋存于炭泥质白云岩、板岩中,受断裂构造与裂隙构造控制较明显,矿体呈脉状、似层状、透镜状产出,矿石构造以网脉状、脉状为主,矿石结构以自形-半自形-他形粒状结构、交代残余结构、溶蚀残余结构为主,根据矿物间彼此的生长关系把成矿作用划分为2期4阶段。

(2)围岩蚀变具有一定的找矿意义,可通过寻找蚀变区域,锁定找矿范围,提高找矿效率。

(3)工业矿体的形成是在印支运动驱动力下,促使成矿元素活化、混合与迁移并富聚成矿,成矿温度为140~220℃,属于中-低温、低盐度、低密度热液矿床,成矿时间相对集中,主要形成于热液成矿期第2成矿阶段,成因类型为沉积-改造热液型铅锌矿床。

**致谢:**中国科学院地球化学研究所周家喜副研究员在成文过程给予了指导,在此表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1]陈天佑.东川矿区前寒武系昆阳群准层型剖面研究[J].西南矿产地质,1990,4(3):28-32.
- [2]戴恒贵.康滇地区昆阳群和会理群地层、构造及找矿靶区研究[J].云南地质,1997,16(1):1-39.
- [3]桂林冶金地质研究所变质岩铜矿专题组.东川铜矿的地层岩石特征及其与成矿的关系[J].地质与勘探,1975,(4):18-25.
- [4]花友仁.对东川铜矿地层的划分和区域构造的探讨[J].地质论评,1959,19(4):155-162.
- [5]蒋家申.东川矿区地质找矿研究问题[J].云南地质,1998,17(1):46-56.
- [6]刘洪滔.云南东川一禄劝地区铜铁矿床成矿系列探讨[J].河南科学,2013,31(7):1048-1055.
- [7]刘卫明,刘继顺,尹利君,等.东川运动及其对东川矿区褶皱构造的影响[J].地质力学学报,2012,18(1):42-51.
- [8]柳贺昌.滇、川、黔铅锌成矿区的构造控矿[J].云南地质,1995,14(3):173-189.
- [9]牟传龙,林仕良,余谦.四川会理一会东及邻区中元古界昆阳群沉积特征及演化[J].沉积与特提斯地质,2000,20(1):44-51.
- [10]潘杏南,赵济湘,张选阳,等.康滇构造与裂谷作用[M].重庆:重庆

出版社,1987:11-133.

- [11]王国泰,包昌良.云南东川昆阳古裂谷型铜矿的成矿模式与找矿方向[J].矿产与地质,2003,97(17):342-344.
- [12]谢世业,黄有德,何国朝.云南东川中元古宙裂谷型铜矿地质、地球化学及成矿模式的研究[J].矿产与地质,1995,47(9):174-179.
- [13]尹福光,孙志明,张璋.会理—东川地区中元古代地层-构造格架[J].地质论评,2011,57(6):770-777.
- [14]黄智龙,陈进,韩润生.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[M].北京:地质出版社,2004.
- [15]李文博,黄智龙,陈进.云南会泽超大型铅锌矿床成矿时代研究[J].矿物学报,2004,24(2):112-116.
- [16]蒯志永,王登红,张长青.四川宁南跑马铅锌矿床的成矿时代及其地质意义[J].中国地质,2010,37(2):488-196.
- [17]柳贺昌,林文达.滇东北铅锌银矿床规律研究[M].昆明:云南大学出版社,1999.
- [18]马能.东川石庄铅锌矿成矿模式[J].云南地质,2012,31(1):125-127.
- [19]秦德先,高建国,田毓龙.滇中铅锌矿地质研究[M].昆明:云南科技出版社,1998.
- [20]王峰,陈进,罗大峰.川滇黔接壤区铅锌矿产资源潜力与找矿规律分析[M].北京:科学出版社,2013.
- [21]张志斌,李朝阳,涂光炽,等.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[J].大地构造与成矿学,2006,30(3):343-354.
- [22]Zhou J X, Huang Z L, Ye L, et al. Research progress of the mineralization of carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn metallogenic province, southwest China[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(1): 307-308.
- [23]张作衡,毛景文,杨建民,等.甘肃小柳沟石英脉型铜矿床成矿流体地球化学研究[J].地球学报,1999,20(增刊):292-297.
- [24]Shepherd T J, Rankin A H, Alderton D H M. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies[M]. Blackie:Chapman&Hall,1985:1-239.
- [25]翟德高,王建平,刘家军,等.内蒙古乌拉银多金属矿床成矿流体演化与成矿机制分析[J].矿物岩石,2010,30(2):68-76.
- [26]高振敏,张乾,陶琰,等.峨眉山幔柱成矿作用分析[J].矿物学报,2004,24(2):99-104.
- [27]赵彻终,刘肇昌,李凡友.会理—东川元古代海相火山岩带的特征与形成环境[J].矿物岩石,1999,19(2):17-24.
- [28]黄智龙,陈进,刘丛强,等.峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J].矿物学报,2001,21(4):681-688.
- [29]宋焯炎,侯增谦,曹志敏,等.峨眉大火成岩省的岩石地球化学特征及时限[J].地质学报,2001,75(4):498-506.