

滇西保山核桃坪铅锌多金属矿床蚀变分带 特征及成因浅析

高星刚¹, 韩艳伟², 唐果², 许博³

(1. 山西省煤炭地质资源环境调查院, 山西 太原 030006; 2. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院,
云南 昆明 650000; 3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘 要:滇西保山核桃坪铅锌多金属矿床位于冈底斯-念青唐古拉褶皱系南段福贡-镇康褶皱带之保山-永德褶皱束北端。矿体呈似层状、透镜状及囊状沿近南北向断裂带及旁侧层间破碎带产出, 赋矿围岩为沿断裂带产出的矽卡岩及其附近的上寒武统核桃坪组中-厚层状大理岩化灰岩与泥质灰岩。近南北向的 F_1 断裂及其次级断裂为主要的控矿构造, 构成热液型锌、铅、银、铜、铁、金多金属矿床。根据热液脉体穿切关系、矿物组合及成因特征, 将热液成矿作用分为 7 个矿化阶段, 其中第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段是锌的主成矿阶段。与矿化关系密切的主要蚀变类型有矽卡岩化、硅化、方解石化及黄铁矿化等。对 V1 矿体的蚀变填图及蚀变矿物组合、分带特征进行系统的观测, 结果表明: 蚀变分带模式具中心式环带结构, 纵向上由浅表至深部, 成矿元素具有 $Cu(Fe) \rightarrow Cu, Zn(Fe) \rightarrow Pb, Zn(Cu, Au, Ag) \rightarrow Au$ 的分带; 侧向上从矿体向围岩, 成矿元素具有 $CuZn(Fe)$ 或 $CuPbZn \rightarrow PbZn(Cu, Au, Ag) \rightarrow Au$ 的分带, 显示成矿热液叠加复合分带性特征, 并指示矿液具有从北东向南西方向迁移的趋势。综合分析后认为该矿床是多期叠加复合成矿作用的结果, 与区内深部岩体有关的矽卡岩矿化为早期成矿, 而后又叠加晚期中低温热液成矿作用, 该矿床是一个重要的同位、多阶段成矿的典型矿床。

关键词: 矿床地质特征; 矿物组合; 矽卡岩; 核桃坪铅锌矿床

中图分类号: P618.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2018)02-0136-11

Alteration Zoning Characteristics and Genesis of the Hetaoping Pb - Zn Polymetal Deposit in Baoshan, Western Yunnan

GAO Xinggang¹, HAN Yanwei², TANG Guo², XU Bo³

(1. Shanxi Resources and Environment Survey of Coal Geology, Taiyuan 030006 Shanxi, China;

2. Kunming Prospecting Design Institute, China Nonferrous Metals Industry, Kunming 650051 Yuannan, China;

3. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Hetaoping lead-zinc deposits, located in Baoshan area, western Yunnan, is occurred within the northern part of Bashan-Yongde virgation in Fugong-Zhenkang fold belt, which is situated in the southern section of Gangdese-Nyainqentanglha fold systems. The ore body is occurred along N - S fault and interstratified fracture zone, with layer, lentoid and vesicular shapes. The ore-forming rock is skarn within fracture zone and marble limestone and argillaceous limestone in upper Cambrian Hetaoping group. The ore-controlling tectonic are N - S F_1 fault and NN - W secondary faults, where develop hy-

收稿日期: 2017-09-12; 修回日期: 2018-02-10

基金项目: 教育部“煌斑岩原位微区矿物成因及深部过程”(53200759027)项目资助

作者简介: 高星刚(1984-), 男, 山西吕梁人, 工程师, 主要从事水工环地质及矿产勘查工作。E-mail: shanheshui2003@163.com

hydrothermal Zn, Pb, Ag, Cu, Fe and Au deposits. According the veins cutting relationships, minerals assemblages and origin characters, the hydrothermal process can be divided into seven mineralization stages, in which the third, fourth and five stages are main Zn mineralized phases. The main types of alterations closely related to mineralization are skarnization, silicification, calcilization and pyritization. The alteration mapping has been carried out, the altered minerals assemblages of V1 ore body in DK15 have been analyzed, and the zoned alteration process has been revealed. From the deep to surface, ore-forming elements have a zoning feature of Cu (Fe) $\rightarrow$ Cu, Zn (Fe) $\rightarrow$ Pb, Zn (Cu, Au, Ag) $\rightarrow$ Au; From ore body to wall-rock, ore-forming elements have a changing trend of CuZn (Fe) or CuPbZn $\rightarrow$ PbZn (Cu, Au, Ag) $\rightarrow$ Au, shoeing the superimposition and zonation characters of hydrothermal fluid. These results suggest that the hydrothermal fluid has a migrated trend from the northeast to southwest. In brief, the Hetaoping Pb - Zn deposit is a skarn-type deposit formed by the multiple superimposition of hydrothermal fluid, which has association with the skarnization of deep magma in early stage and is related to the middle- and low-temperature hydrothermal mineralization in late stage. This deposit can be served as an important example of multiple mineralized deposits.

Keywords: geological characteristics; alteration zoning; skarn; Hepingping lead-zinc deposit

核桃坪铅矿床位于滇西保山市正北侧平距 38 km 处,属保山-镇康铅锌铜多金属成矿带(陈永清等,2005;朱余银等,2006;薛传东等,2008)。目前,在以核桃坪铅锌矿区为中心约 15 km 的弧形矿化集中区内,已初步查明大型矿床 2 个、中型矿床 7 个、小型矿床及矿点 10 余个;矿种涉及铅、锌、铜、金、银、锑、汞和铁等,还存在着北东向、近南北向呈带状展布的大规模 Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg 等元素的区域化探异常,预示仍有很大的找矿潜力(邓必芳,1995;符德贵等,2002)。前人对本区矿床地质特征、容矿地层地球化学以及同位素地球化学等方面做了研究(陈永清等,2005;XUE et al., 2006;朱余银等,2006;李志国等,2006;薛传东等,2008;陶琰等,2010),但因缺乏对矿物组合、围岩蚀变及矿化分带等方面的深入研究,致使对矿床成因认识的分歧仍很大。随着矿区生产的进行,矿体得到了完整地揭露,其最低中段已控制在地面以下 500 m。笔者即从这些方面对该矿床地质特征做系统地总结,并分析其矿床成因。

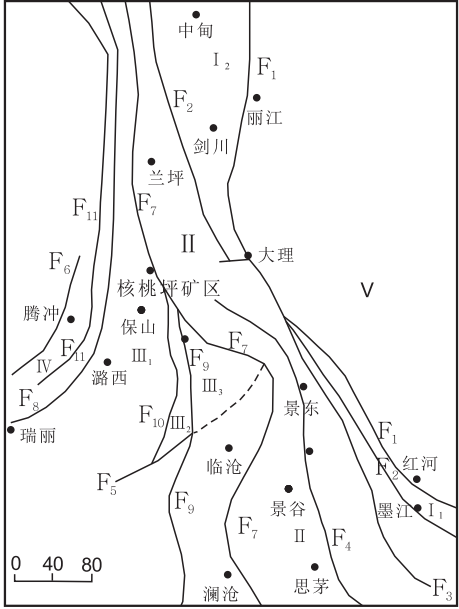
1 地质概况

核桃坪铅锌矿床是滇西保山核桃坪铅锌多金属矿集区内唯一的一个大型矿床。核桃坪铅锌多金属矿集区位于保山-镇康、兰坪-思茅与昌宁-孟连 3 个微板块的汇聚地带而偏向保山地块一侧,属冈底斯-念青唐古拉褶皱系南段福贡-镇康褶皱带之保山-永

德褶皱束北端,属保山-镇康铅锌铜多金属成矿带。核桃坪铅锌矿床处在保山-施甸复背斜北倾伏端与受澜沧江深大构造带控制的北北西向崇山变质构造推覆带的锐角交汇部位,近南北向的柯街断裂和崇山西断裂在矿区东侧通过,构成区内北部收缩、向南撒开的构造格局(图 1)。澜沧江断裂和崇山断裂均是切入地幔的超岩石圈断裂(云南省地质矿产局,1990),区内与其有关的构造运动、变质作用、岩浆活动和流体运移十分强烈,成矿地质条件极为优越。

区域出露地层主要有上寒武统、奥陶系、志留系及泥盆系。其中,上寒武统核桃坪组是区内主要赋矿层位,构造发育,密集发育近于平行排列的断裂及茅竹棚-核桃坪复式短轴背斜,总体表现为向东弧形弯曲的格局。岩浆岩露头主要为分布较广的变辉绿岩及辉绿辉长岩脉,多呈脉状、岩墙状及岩枝状产出,其延伸方向明显受断裂控制。

矿区出露地层为上寒武统碳酸盐岩、钙质泥岩及砂岩,自下而上可划分为核桃坪组(C_3h)、沙河厂组(C_3sh)和保山组(C_3b)。对地层含矿性分析(陈永清等,2005)表明,地层有可能为成矿提供一定的矿质来源,但主要还是为成矿提供赋存空间。受澜沧江及崇山西深大断裂的影响,区内断裂发育,构造线主要呈南北向、北西向、北东向及近东西向,其中南北向的 F_1 、 F_{1-1} 、 F_2 等断裂及其次级断裂与矿化关系比较密切,为成矿提供通道与容矿空间,近东西向组多为后期破矿构造。



I. 藤条江(I 1)-金沙江(I 2)碰撞带; II. 兰坪-思茅地块; III 1. 保山-永德地块; III 2. 昌宁孟连蛇岩混杂带; III 3. 临沧弧后花岗岩带; IV. 高黎贡山陆陆碰撞带; V. 扬子准地台; F₁. 红河断裂; F₂. 金沙江断裂; F₃. 阿墨江断裂; F₄. 无量山营盘山断裂; F₅. 南定河断裂; F₆. 大盈江断裂; F₇. 澜沧江断裂; F₈. 怒江断裂; F₉. 昌宁-孟连断裂; F₁₀. 柯街断裂; F₁₁. 龙川江断裂

图 1 核桃坪矿区区域构造简图(据王义昭,1988 修编)

Fig. 1 Regional structure diagram of the Hetaoping (Modified after WANG Yizhao,1988)

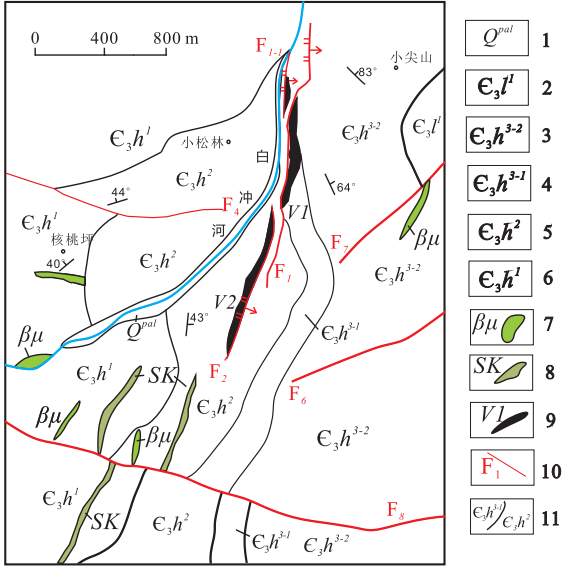
矿区发育变辉绿岩及辉绿辉长岩脉,多呈脉状、岩墙状及岩枝状产于近南北向、北西向及东西向断裂构造带中,为印支早期的产物,普遍发育热液蚀变和片理化变形现象。根据区内广泛存在辉绿岩脉,显示区域重力低和负磁异常特征(符德贵等,2004),以及强烈的 Bi、B、Sb、As、W、Sn 富集分带特征,推测深部可能存在隐伏岩体。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

核桃坪铅锌矿床由 10 余个大小不同的矿体组成,主要控制矿体有 6 个,均严格受断裂控制(薛传东等,2008)。地表矿化露头沿断裂带零星断续分布,矿体均呈似层状、透镜状及不规则囊状产于近南北向断裂破碎带及层间裂隙带内的类砂卡岩及其附近的上寒武统核桃坪组中-上段大理岩化灰岩、泥质灰岩中。V₁主矿体地表露头长 650 m,深部工程控

制长度已达 1 400 m,一般厚 5.0~25.0 m,最大厚度达 30.0 m,最小厚 0.5 m,平均厚 9.2 m,控制最大倾斜延深大于 500 m,向北东向侧伏;倾向 60°~80°,倾角 30°~45°,与地层产状基本一致。矿体 Pb 品位为 0.60%~9.56%,Zn 品位为 2.59%~34.4%,尚伴生 Fe、Cu、Au、Ag、Cd,Au 局部可达 0.21×10⁻⁶~12.60×10⁻⁶(图 2)。



1. 第四系洪冲积物;2. 柳水组长石石英细砂岩夹粉砂岩;3. 核桃坪组上段二层大理岩化灰岩夹大理岩化泥质条带灰岩;4. 核桃坪组上段一层大理岩化泥质条带灰岩、泥质灰岩;5. 核桃坪组中段钙质板岩;6. 核桃坪组下段钙质粉砂岩;7. 辉绿岩;8. 砂卡岩;9. 铅锌矿体;10. 断层及编号;11. 地质界线

图 2 核桃坪矿床地质简图(据矿山生产资料修编)

Fig. 2 Geological map of the Hepingping deposit (Compiled from the mine production data)

矿体赋存在地面 30~400 m 以下,在平面上、剖面上具等间距左行斜列展布,往往具有较大的侧伏和延深,沿倾向和走向上均具膨大收缩、尖灭再现现象。下部矿体与围岩呈交代接触,与围岩的层理(片理)大致协调一致,界线总体清晰,局部存在渐变过渡现象。主矿体边部可见较多产于大理岩化灰岩中的不规则囊状富铅矿体,与围岩主要为突变接触,显示快速贯入迹象。矿体中常夹有团块状、透镜体状大理岩、砂卡岩、纹层状钙质泥岩及辉绿岩包体,厚度一般小于 7.0 m,最长可达 150~230 m。边侧部及内部热液流动构造及交代反应边发育,矿体近侧部(顶、底及侧边)大理岩化灰岩常具强烈的旋扭、挠曲及岩层变薄现象。

受成矿后构造破坏影响,矿石揉皱褶断明显,上部矿体普遍较为破碎,下部矿体较为完整。

区内铅锌多金属矿化类型及矿物组分为复杂。矿石主要自然类型有矽卡岩型铅锌矿石、石英-方解石脉型铅锌矿石、矽卡岩化大理岩型及矽卡岩化钙质泥岩型浸染状铅锌矿石,以前两者为主。矿石金属矿物主要有闪锌矿(Sp)、铁闪锌矿(Chl)、方铅矿(Ga)、黄铁矿(Py),以及少量的黄铜矿(Cp)、磁黄铁矿(Pyr)、磁铁矿(Mt)、白铁矿(Mar)和菱铁矿(Sid)等;非金属矿物有阳起石(Act)、透辉石(Di)、钙铁辉石(Hd)、透闪石(Tr)、绿帘石(Ep)、绿泥石(Chl)、石英(Q)、方解石(Cc)、石榴子石(Grt),以及少量的普通角闪石(Hbl)、歪长石(Amr)、符山石(Ves)、韭闪石(Prg)、硅灰石(Wo)、斜黝帘石(Czo)、白云石(Dol)、萤石(Fl)、重晶石(Brt)等。矿石结构以自形-半自形晶粒状、交代、交代残留及环带结构为主,具稀疏-稠密浸染状、致密块状、团块状和条带状构造,少量具有星点状、晶洞状、梳状构造。浅表部矿石多已氧化淋滤,多见褐铁矿(Lim)、水锌矿(Hyz)等(图3)。

2.2 围岩蚀变特征

区内热液蚀变较为复杂,明显具有多阶段性。常见的近矿围岩蚀变主要有矽卡岩化(以阳起石化、透闪石化、绿帘石化为主)、硅化、碳酸盐化和黄铁矿化等(图3)。在矿体近侧矽卡岩化、硅化较为强烈,局部地段可见角岩化。其中,矽卡岩化、黄铁矿化、硅化、碳酸盐化是主要蚀变类型,与矿体的形成关系密切。各种典型蚀变矿物结晶及产出特征见表1。

矽卡岩化是矿区主要围岩蚀变,分布范围广泛,几乎所有矿体和矿化地段均有矽卡岩(化),主要分布矿体周边或边缘地带,呈不连续的似条带状、脉状、不规则状嵌布于围岩中,与矿体接触界线多为过渡关系,亦有突变接触。矽卡岩的空间展布受 F_1 断裂带和岩性的控制。按矽卡岩两大成因分类,本区矽卡岩属于钙质矽卡岩,包括石榴子石-透辉石矽卡岩、角闪石-阳起石(透闪石)矽卡岩、阳起石-绿帘石-绿泥石矽卡岩及绿帘石-绿泥石矽卡岩等4种类型。

硅化、碳酸盐化发生在石英硫化物期,为矽卡岩形成的一个重要的转变时期,这一时期热液作用复杂且漫长,在成矿作用中有重要的意义。温度的降低与 H_2S 在热液中溶解度的增加,导致金属硫化物沉淀,故该期为本区铅锌硫化物形成与成矿的主要时期。该时期 SiO_2 一般不再形成透闪石、阳起石、

绿帘石等矽卡岩矿物,单独游离形成石英;Ca、Mg离子则单独形成碳酸盐矿物,并对矽卡岩矿物产生强烈的叠加交代。

矿区蚀变自矿体边部向中心依次为灰岩、泥质灰岩→含泥质条带大理岩化灰岩→灰白色大理岩、矽卡岩→矽卡岩型铅锌矿体,其分带明显。另外,矿区灰岩与泥质灰岩地层的大理岩化与矿化的关系密切,可作为矿化及矽卡岩化的远程指示。

2.3 矿化阶段与成矿期次

区内矿化与热液蚀变一样具有多阶段的性质。主要矿化类型为闪锌矿化、方铅矿化及少量的黄铜矿化。这些矿化多发生于石英硫化物期,其中早阶段黄铜矿化(少量);中阶段为闪锌矿化-黄铜矿化(少量),为闪锌矿的主要产出阶段;晚阶段则为方铅矿化-闪锌矿化(少量),各种金属矿物都表现出多世代的特征(表2)。

区内矽卡岩及铅锌成矿具有明显的多期多阶段性活动特点。根据野外宏观观察和室内镜下鉴定,结合脉体穿插及矿物的生成顺序和共生关系(图3),区内热液成矿蚀变作用主要表现为矽卡岩-硫化物成矿期,可细分为7个阶段。即:(I)早期矽卡岩阶段、(II)晚期湿矽卡岩-石英-磁铁矿阶段、(III)蚀变矽卡岩-Q-Py-Sp-Cp阶段、(IV)Q-Sp-Ga-Cp阶段、(V)Q-Cc-(Brt)-Sp-Ga阶段、(VI)Q(少量)-Cc-Ga阶段、(VII)碳酸盐阶段。其中,矽卡岩-硫化物-石英-碳酸盐矿化阶段(III、IV、V)叠加于之前的矽卡岩期各阶段蚀变之上,也是铅锌多金属的主要成矿时期。

3 蚀变分带特征

后期热液蚀变强烈叠加改造早期矽卡岩是核桃坪铅锌矿最显著的特点,故宏观上其蚀变组合与分带规律不明显。但如果剔除叠加蚀变的影响,便会呈现一定的规律性蚀变分带特征。系统的观察表明,区内围岩蚀变为中心式环带结构,中心向边侧可以分为矽卡岩-铅锌矿化带、矽卡岩-黄铁矿化带、碳酸盐-石英-矽卡岩化带、碳酸盐-绿泥石化带。各分带在空间上呈现一定的规律性,且每个蚀变带明显的表现出叠加的现象,形成蚀变组合分带。各蚀变带常依一定的规律产出于矿体周围,但各部位强度、范围等都有不同。经DK15坑10个中段坑道的揭露, V_1 矿体分带规律较为明显(图4)。

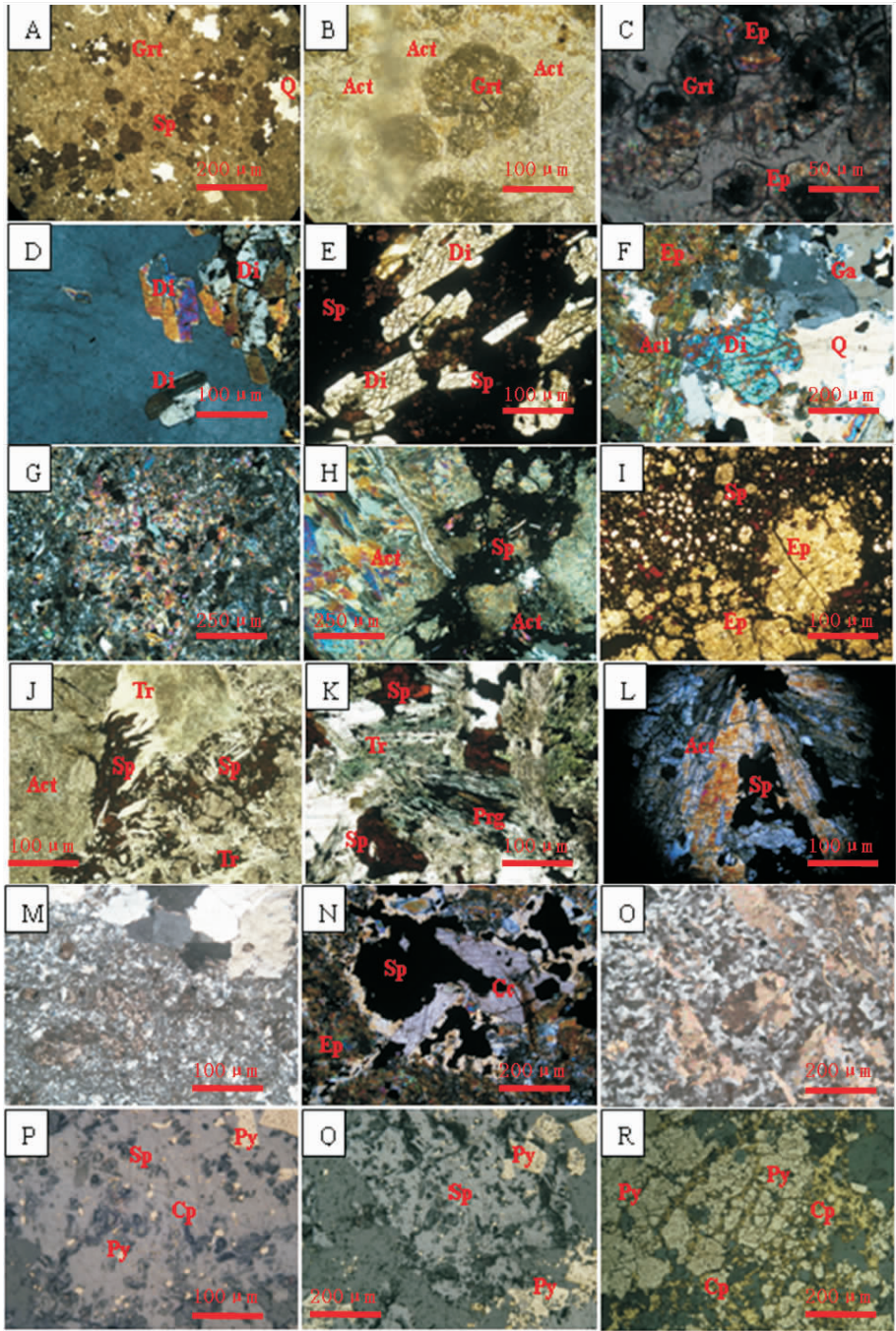


图 3 核桃坪矿床矿物共生关系图

Fig. 3 Mineral symbiotic relationship map of the Hetaoping deposit

A. Grt 集合体, 见 Sp 与 Q 充填其晶隙; B. Grt 被 Act、Ep 等矿物交代形成蚀变边; C. Ep 交代 Grt, 保持其假像; D. Di 集合体, 沿其边部与微裂隙可见闪石类交代; 同期或稍晚期 Q 亦从其中心对其交代形成港湾状; E. 暗红色 Sp 包裹交代 Di 晶体, Di 切面上可见两组正交解理; F. 早期矽卡岩矿物 Di 被晚期矽卡岩矿物 Ep、Act 交代, 形成残晶, 而后三种矽卡岩矿物又被石英硫化物期热液所交代, 反映了矿区热液演化的时间关系; G. 交代早期矽卡岩矿所形成的 Ep-Act 矽卡岩; H. 早阶段沿构造裂隙贯入的无矿 Q. Act 脉与 Act 矽卡岩一起被晚阶段 Sp 脉切穿交代; I. Sp 胶结交代 Ep 碎屑, Ep 碎屑中可见少量的 Q 团块; J. L. 为矿区典型矽卡岩型铅锌矿石镜下显微产出状态。可见 Sp±Q 对矽卡岩矿物的交代; M. 第一世代不含矿的 Cc 被两期 Q 交代, 而早阶段细粒又被晚阶段粗粒交代重结晶; N. 图为其部位第一世代 Cc, 可见其又被 Sp 交代, O 图为 M 图局部放大; P-R. Sp 包裹交代 Py, Sp 与 Cp 呈“乳油结构”, 反映了 Cp 与 Sp 的共生关系; Q、P. 反映了矿区主要金属矿物的交代关系, 其中 Py 分为两个世代均被 Sp 与 Cp 交代。Grt. 石榴子石; Ep. 绿帘石; Act. 阳起石; Di. 透辉石; Tr. 透闪石; Q. 石英; Cc. 方解石; Cp. 黄铜矿; Py. 黄铁矿; Sp. 闪锌矿

表 1 核桃坪矿床各矿化阶段典型矿物结晶及产出特征表
Tab. 1 Typical Mineral Crystallization and Output Characteristics in Various Mineralization Stages of Hetaoping deposit

期次	矿物/世代	颜色	粒度(mm)	结晶特点	产出数量、部位	后期蚀变	备 注
干砂卡岩阶段	石榴子石	1	浅灰绿色	粒状四角三八面体及菱形十二面体,偶见其聚形	呈团块状(直径<0.5m)状产出于砂卡岩或矿体近中心部位,产出数量少,占石榴子石总量的 60%左右;整个矿体均可见,但中下部偏多	蚀变强烈,常见闪石类(Tr、Act)、Ep交代并保持其假像,Q、Cc、Sp沿其环带进行交代	大部分均为质体,全消光
		2	镜下浅灰色	粒状、四角三八面体	肉眼不可见,镜下其呈呈散状产于 Q、Cc 团块中,产出数量亦较少;多产于矿体中下部,特别中部最多	蚀变少或无,多见其包裹于 Q、Cc 斑晶中,边界平直,有时可见锯齿状碎裂	中心部位全消光,边缘部一级灰白
	透辉石	浅灰绿色	0.05~0.2,一般 0.1~0.15	柱状、短柱状 常见{100}双晶	产出较少,肉眼不可识别,镜下团块及星散状都可见;整个矿体均可见,但上中部偏多	团块状产出者蚀变强烈,星散状双晶产出者蚀变少或无	呈现二级蓝绿、橙黄
	阳起石	深绿色、棕褐色	0.1~10	放射状(75%)、纤维状	占矿区砂卡岩矿物的(40%),常单独形成砂卡岩;整个矿体均多见,但中下部偏多,占其总量的 80%	常见 Ep与晚期 Q、Cc、Sp、Ga沿其解理对它强烈交代。	
	透闪石	无色、淡绿色	>0.1	纤维状	矿区主要砂卡岩矿物,常与 Act、Ep等一起形成砂卡岩;其产出多位于矿体中上部,特别是上部	常见 Q、Sp、Cc、Chl等对其包裹或沿解理进行强烈交代	
湿砂卡岩阶段	绿帘石	1	绿色、浅黄绿色	不均匀粒状及柱状	多,占矿区砂卡岩矿物的矿物(30%),常与 Act一起形成砂卡岩,亦可单独形成砂卡岩;整个矿体均可见,但中下部偏多	多见 Q、Sp对其包裹交代	
		2	淡黄绿色	柱状	少,星点状产出于 Q 斑晶中,脉状少见,多产于近围岩处	交代少或无,与后期 Q、Sp 同生	
	绿泥石	绿、淡绿色	0.01~0.03	扇状、鳞片状	较多,裂隙充填脉及胶结物产出;矿体外围近围岩处多见	很少见交代现象	干涉色异常为柏林蓝
	黄铁矿	浅黄铜色	0.005~0.65,一般 0.05~0.25	自形晶,环带结构 常见	多,呈脉状、浸染状、团块状产出于砂卡岩矿物间;出于矿体外围,铁砂卡岩则见于矿区南部及下部	常被白铁矿、毒砂、黝铜矿和黄铜矿、方铅矿及闪锌矿等交代	
期次	矿物	粒度(mm)	脉幅(cm)	产出数量、部位		矿物组合	备 注
石英硫化物阶段	石英	1	<0.1	较少、多呈斑块状产于各种砂卡岩矿物晶隙中;多位于砂卡岩型矿体中心部位	Ep+Chl+Py+Cp(少量)	均一温度(℃) 250~300	
		2	0.1~5	多,各分带均可见大量产出	Sp + Cp± Py	180~250	
		3	0.2~5	多,呈团块状与方解石一起充填晚期构造裂隙;多见于砂卡岩矿体最外围	Cc+ Sp Ga (少量)	130~180	
	方解石	1	<0.01	少,以斑块与细脉为充填于砂卡岩矿物晶隙或显微裂隙中;因产出极少,其部位不明	未见其他矿物	集中于 230~300	呈淡粉红色
		2	0.5~15	多,多呈粗大脉体产于矿化晚期或矿化后期后构造形成裂隙及解绿岩裂隙中;其产出没有明显界线,各个蚀变分带中均可见到,但主要还是在蚀变分带的最外围	Cc+ Ga± Sp	110~220	无色或浅灰白色

注:岩矿标本取自于核桃坪矿山,镜下工作源于昆明理工大学矿物学实验室。

表 2 核桃坪矿床金属矿物矿化特征表
Tab. 2 Metallic mineral characteristics of Hetaoping deposit

矿物/世代		颜色	集合体大小(mm)	结晶特点	产出数量、部位	蚀变交代
闪锌矿	1	褐色、棕褐色	他形粒状,0.02~10, 常见 0.05~3	自形晶时, 解理平行{110}	多,呈团块状浸染状充填早期矽卡岩节理、裂隙	与 Cp、Py 紧密共生,少见 Q
	2	红褐色、土黄色			多,常呈斑状块产于石英石英脉体或团块之中	与石英紧密共生,强烈交代各种矽卡岩矿物
	3	浅绿色、亮黄色			少,多零星产出于石英硫体期第Ⅳ、Ⅴ阶段	常见其与 Ga 共生于碳酸盐之中,矿化结束标志
方铅矿	1	铅灰色	他形粒状、微粒状集合体,0.01~0.26	呈自形晶, {111}解理完全	多,与 Sp 一起呈星散状产于矽卡岩或石英团块中;多见于主矿体的边部	常见三角形陷孔、内部环带结构,常交代与其共生的大部分矿物
	2		自形粒状集合体, 0.5~10	呈自形晶, {111}解理完全	较少,占 Ga 产出形式的 10—15%呈团块状产于 Q、Cc 或 Cc 脉体中	无任何交代蚀变
黄铜矿		铜黄色	他形粒状、微粒状集合体,0.01~0.5, 常见 0.01~0.03	多它形	少,早期 Cp 充填胶结矽卡岩矿物。晚期黄铜矿呈乳浊状分布于闪锌矿中	矿化不强,常与 Py 及 Sp 共生,常见其交代早期 Py

注:岩矿标本取自于核桃坪矿山,镜下工作源于昆明理工大学矿物学实验室。

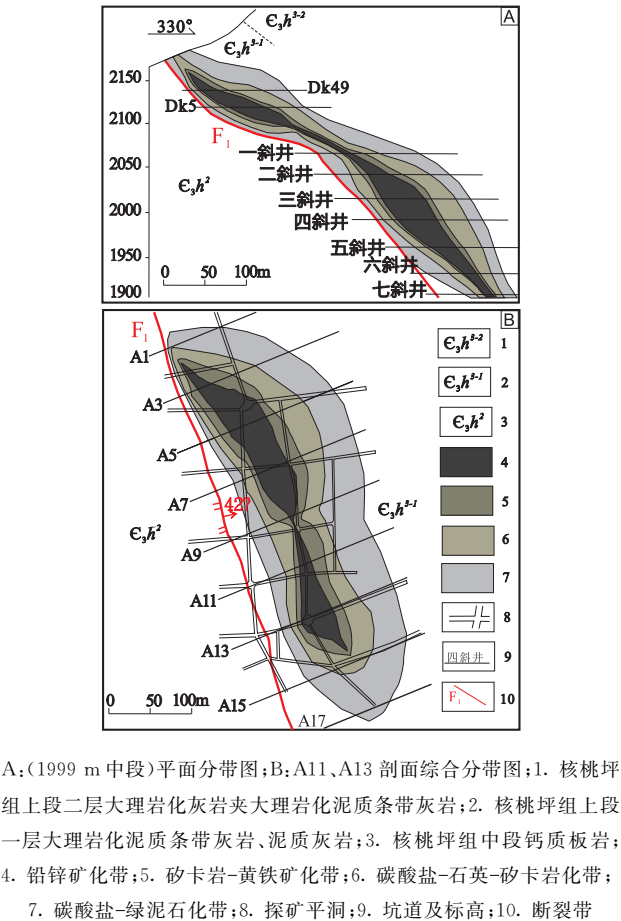


图 4 核桃坪矿床 V₁ 矿体围岩蚀变分带图
(底图源于矿山生产用图)

Fig. 4 Wall rock alteration of V₁ ore body of Hetaoping deposit(Compiled from the mine production data)

从图 3 可以看到,矿床的空间分布受地层与构造,特别是构造的严格控制,且仅产于 F₁ 断裂的上盘。位于蚀变带中心的矽卡岩-铅锌矿化带,其宽度一般小于 50 m,矿化越强宽度越大,在四斜井该带宽度最大,可达近百米。在该带中,一个明显的特征为早期矽卡岩矿物,如石榴子石、透辉石呈致密块状产于其中,边部常见晚期矿物对其交代,而中心位置则少见交代,常见土黄色闪锌矿呈脉状(脉幅一般小于 10 cm)沿裂隙充填。该带铅中部锌矿石类型为团块或稠密浸染状,而边部则转变为稀疏浸染状、星点状、脉状。其外围为矽卡岩-黄铁矿化带,该带宽度变化较大,宏观上可以从无到十几米宽,局部甚至可以形成巨大的致密块状黄铁矿化体。矿体某些部位缺失可能是由于构造条件改变和热液演化后期闪锌矿、黄铜矿对黄铁矿的交代所造成的。向外为碳酸盐-石英-矽卡岩化带,其范围较宽,一般宽度为 10~15 m,局部可达数十米。石英、碳酸盐多以粗大脉状、团块状产出,含矿少或不含矿,多充填成矿晚期或成矿期后构造活动裂隙,特别在五斜井南部近 F₁ 处,可见近矿矽卡岩中石英脉体宽达 2 m 以上,但该带与其他分带并没有严格的界线,可与其他所有分带叠加。碳酸盐-绿泥石化带为蚀变分带的最外围,其宽度亦较大,局部可达十几米,蚀变矿物多以绿泥石、绿帘石为主,而碳酸盐化多表现为粗大的方解石脉体,或产于矽卡岩边部,或产于大理岩化围岩之中。向外则为大理岩化灰岩、大理岩化泥质

灰岩,围岩全部呈白色、灰白色,且多发生旋扭、减薄,为矽卡岩扩容过程所造成的。而对其成矿元素的研究则表明,纵向上由浅表至深部,成矿元素具有 Zn、Pb (Cu、Au、Ag)→Zn、Pb、Cu(Fe)→Cu (Fe)的分带规律。通过总结矿区不同中段、不同位置矿石品位发现(表 3),Zn 和 Pb 矿化中心位于 V₁ 矿体中部和北部(即 A5-A11 线之间),品位介于 9.06%~31.4%,平均为 13%左右,向其他方向 Pb、Zn 品位则明显递减;而 Fe、Cu 的矿化主要

位于 V₁ 矿体南部与深部。矽卡岩类型纵向上表现为:由贫 Fe 的透闪石-阳起石矽卡岩向下渐变为富铁阳起石-透闪石-绿帘石矽卡岩、绿帘石-阳起石-透闪石矽卡岩、绿帘石矽卡,局部还会出现钙铁榴石矽卡岩。横向上,矿体主要沿断裂带产于矽卡岩中及其附近大理岩化灰岩中,二者多为过渡关系,也有突变接触。由矿化体中向外围,成矿元素分带有 Zn、Cu(Fe、Pb)→Zn、Fe、Cu→Zn、Pb 的分布规律。

表 3 核桃坪铅锌多金属矿床 V₁ 矿体勘探线剖面 Pb、Zn 品位(%)统计表
Tab. 3 Ore prospecting line profile Pb Zn grade (%) statistical tables of Hetaoping deposit

剖面号 中段	A1 线		A3 线		A5 线		A7 线		A9 线		A11 线	
	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb
一中段	4.46	1.29	—	—	5.01	3.05	10.96	3.77	16.22	5.77	9.09	3.08
二中段	—	—	2.31	1.32	6.85	2.15	13.15	4.24	15.88	3.21	—	—
三中段	—	—	—	—	9.13	4.67	17.25	5.23	6.91	2.1	7.86	5.29
四中段	—	—	9.5	2.17	12.21	9.56	9.06	3.05	26.12	2.21	7.67	1.16
五中段	3.49	0.66	—	—	5.12	2.14	31.4	3.81	12.17	4.8	4.8	2.52
六中段	—	—	—	—	—	—	3.32	0.85	9.45	6.44	—	—

注:原始数据来自于矿山生产勘探资料。

4 矿床成因讨论

对于矽卡岩的成因问题,除传统上强调侵入岩与钙质围岩间的接触交代作用成因之外,还存在着潜火山作用、区域变质作用、接触热变质作用、混合岩化作用、热水沉积-成岩作用和矽卡岩质熔流体或岩浆的贯入作用等成因(吴言昌等,1998)。在本区,除揭露印支期辉绿岩脉以外,未见其他任何岩体,明显早于成矿期,一般只起到阻挡热液运移的作用,与矽卡岩化没有直接关系。区内晚期矽卡岩强烈交代早期矽卡岩形成矽卡岩主体,其后又叠加成矿热液的强烈交代,使得矽卡岩的分带十分不明显,进而使得前人及笔者对矽卡岩的成因问题不解。一度笔者认为矽卡岩可能是硅酸盐岩浆贯入结晶所形成的,但该类矽卡岩主要特点为:①主要产于侵入岩与围岩接触带附近的碳酸盐岩地层中,矿物主要为钙铁、钙铝石榴子石及单斜辉石,其占矿物总量的 80%~90%;特征性矿物为碱长石、斜长石。②在成岩的

碱铝硅酸盐碳酸盐矿物结晶阶段,从残余浆(流)体中会生成大量的碱铝硅酸盐矿物长石及方解石以及硬石膏等,多充填早阶段矿物晶隙。③在主要矽卡岩矿物透辉石、石榴子石的包裹体中,会大量出现硅酸盐熔体包裹体和硅酸盐熔体-流体包裹体,而且还有高温高盐度多相包裹体,均一温度都高达1 000℃以上(梁祥济,2000)。而本区石榴子石与辉石的产出量不足 10%,主要以湿矽卡岩为主,且并未发现大量碱性长石,也未发现有硅酸盐熔体包裹体,且均一温度均为 400℃以下,故矽卡岩应该不是硅酸盐融浆成因。

MEINERT(1992,2005)指出,大多数矽卡岩中,矽卡岩与大理岩接触带上存在一种近源石榴子石、远源辉石和符山石的一般分带模式,在这种分带模式中矽卡岩矿物可显示出颜色或成分的规律性变化。例如,近岩体石榴子石常显红褐色,远处为浅褐色,而向大理岩前缘则为淡绿色。锌矽卡岩具有独特的富锰和富铁矿物,沿构造和岩性接触面产出的矽卡岩中心没有明显的变质晕。几乎所有的矽卡岩

矿物都可以富锰,在大部分矿床中沿流体流动通道,辉石/石榴子石值及辉石含量有规律地升高。这种特征已经可以用来识别的近源和远源矽卡岩。虽矿区内早期矽卡岩几乎全部被后期热液所交代,但经过观察对比发现,总体上矿体下部(标高 1 999 m 以下)石榴子石矽卡岩比中上部的出现机率要大,矽卡岩矿物含量明显增加;相对中上部,下部辉石含量有明显下降,石榴子石矽卡岩完全呈现出淡绿色、绿色,辉石/石榴子石的比值从矿体上部向下有下降的趋势,反映出一种远源矽卡岩的特征。KUSCU 和 MEINERT(2002)对土耳其 Celebi 矿区内矽卡岩、外矽卡岩及远源矽卡岩的研究发现,越靠近内带辉石与石榴子石越发育,而靠近大理岩(即远源矽卡岩)则转变为辉石、绿帘石组合,且后两者辉石多为自形晶的钙铁辉石与透辉石组合,而石榴子石则分为 2 种。一种为近岩体(即内、外矽卡岩)为个体较小的均质体,远离岩体,靠近前缘大理岩,特别是一些脉状矽卡岩石榴子石则为个体大的非均质体。而本矿区与 Celebi 矿区早期矽卡岩矿物分布特征极为相似,矽卡岩以绿帘石、阳起石、辉石、透闪石为主,辉石多为钙铁辉石与透辉石,石榴子石特征也与 Celebi 矿区远源石榴子石相似,且矽卡岩类型叠加了比其更为强烈的退化蚀变。根据区内矽卡岩矿物共生组合、成因及蚀变分带特征,认为本区矽卡岩为与深部岩体有关的远源矽卡岩。

毛景文(2009)认为长江中下游铜陵铜多金属矿床是在早白垩世花岗岩侵位过程中,通过岩浆的分馏演化,在岩体隆起部位及其内外接触带形成斑岩-矽卡岩型矿床,并指出由于广泛发育石炭纪至三叠纪碳酸盐岩,钙质和镁质矽卡岩型矿床是最主要的矿床类型。与长江中下游成矿带铜陵矿集区相似,本区经历了更为复杂的区域地质演化过程,特别是燕山-喜马拉雅期发生大规模的逆冲推覆和剪切走滑活动,造成该区强烈的变形变位、变质作用和岩浆侵位活动,并出现了大量滑覆构造和扩容空间;矿区东侧澜沧江断裂和崇山西断裂均是切入地幔的超岩石圈断裂,矿化发生于壳幔强烈作用地带;矿化集中出现在隐伏岩体的外接触带,矿体形态受控于外围接触构造、成矿前的滑脱构造(包括层间破碎带)及层间构造应力薄弱带,尤其是具有滑脱性质的扩容构造带;矿化类型与围岩关系密切,以灰岩为赋矿围岩,形成钙矽卡岩。本区目前控制矿体则位于矽卡

岩和脉状 Pb-Zn-Ag 矿化带内,为远源矽卡岩型矿床。目前,随矿山深部探矿和生产巷道的揭露,已发现矿体下部铜的含量显著增高,其深部可能转变为矽卡岩型铜矿床及斑岩型铜金钼矿床。

对区内 23 片典型包裹体片中石英、方解石的观察测试表明,石英斑及脉中包裹体大小极为悬殊,介于 4~20 μm ,以不规则、负晶形为主,均一温度变化范围为 140~360 $^{\circ}\text{C}$,盐度为 2.74%~19.45%;方解石脉中包裹体多以负晶形为主,大小 10~15 μm ,均一温度变化范围为 110 $^{\circ}\text{C}$ ~220 $^{\circ}\text{C}$,盐度为 2.41%~10.98%。根据均一温度和盐度,可推算成矿流体的密度为 0.959~1.054 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,均一压力为 0.835 $\times 10^5$ ~158.99 $\times 10^5$ Pa。根据 Haas(1976)总结的不同盐度 NaCl 体系深度-温度图解,其深度相当于 0.25~1.7 km,为浅成环境。

分带特征表明,早期来自深部幔源流体分异的高温、高压(薛传东,2008)不含矿流体沿近南北层间断裂向上运移,在构造薄弱部位和围岩滑动空间发生渗滤交代,形成钙铁石榴子石-钙铁辉石矿物组合的早期矽卡岩,其空间形态呈不连续脉状、囊状及不规则状,并确定后续蚀变及矿化的产出位置。流体演化至中期,不含矿热液依然沿 F_1 及其次级断裂向上运移,但是由于温度、压力、氧化环境及流体所含成分(氯族元素加入)的改变,流体不再形成早期矽卡岩矿物,转而形成富水的晚期矽卡岩矿物及少量的磁铁矿。该阶段形成时间较长,因而早期矽卡岩几乎全部被交代,形成了现在的矽卡岩主体。同时高温高压流体的存在,也成为建造水、地下渗滤水的热驱动,造成这些流体运移、循环,从而粹取地层中的金属元素及矿化剂。晚期随着含矿流体与粹取了地层矿化元素及矿化剂的建造水混合,共同沿 F_1 及层间滑动带向上运移,在矽卡岩中心或边部,交代、充填矽卡岩,矿质随之沉淀,进而形成矿化中心的中、低温铅锌矿化带和其外围中、高温黄铁矿化带。而更晚期的不含矿的富碳酸根流体则充填更晚期裂隙,形成了蚀变分带最外围的碳酸盐绿泥石化带。

矿区成矿流体氧、碳、硫、硅和铅同位素地球化学示踪研究(薛传东等,2008)表明,矿石石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 水值变化范围为 6.1‰~7.6‰,平均为 6.7‰,其 $\delta\text{DV}-\text{SMOW}$ 值变化范围为 -100‰~-108‰,平均为 -104‰;矿石方解石的 $\delta^{13}\text{C}-\text{PDB}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 水值分别为 -6.6‰~-5.9‰和 5.0‰~5.2‰;矿

石闪锌矿、方铅矿、黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $0.99\text{‰} \sim 7.20\text{‰}$, 均值为 5.27‰ ; 矿石中石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $0.3\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$, 平均为 0.5‰ ; 矽卡岩矿物、矽卡岩化泥质灰岩 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-0.7\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$, 平均为 -0.1‰ ; 矿石闪锌矿、方铅矿、黄铁矿的铅同位素组成变化范围较小。以上数据说明, 成矿流体主要来自深部幔源流体分异水, 后期成过程加入地下水或天水, 暗示核桃坪矿区深部存在中酸性岩体, 本区成矿与之有关。

结合区内矿床产出的地质环境、矿床地质、围岩蚀变及分带规律、构造控矿、同位素特征、流体包裹体研究成果, 认为该矿床主要为与岩浆活动有关的矽卡岩型矿床, 成矿流体和矿质主要来源于深部岩浆结晶分异, 而后期中低温热液活动也对本区铅锌造成局部富集。国际上有关矽卡岩矿床成因的最新研究成果也证明了这一观点 (BAKER et al., 2004)。

5 结论

(1) 核桃坪铅锌多金属矿床与矿化有关的围岩蚀变主要为矽卡岩化、硅化、碳酸盐化及黄铁矿化, 它们也是矿化的近程指示。

(2) 从矿体中心向围岩形成明显的矿化蚀变分带, 依次为矽卡岩-铅锌矿化带→黄铁矿化-矽卡岩带→碳酸盐-石英-矽卡岩化带→碳酸盐-绿泥石化带, 但普遍存在叠加复合的现象。

(3) 纵向上由浅表至深部, 成矿元素具有 $\text{Cu}(\text{Fe}) \rightarrow \text{Cu}, \text{Zn}(\text{Fe}) \rightarrow \text{Pb}, \text{Zn}(\text{Cu}, \text{Au}, \text{Ag}) \rightarrow \text{Au}$ 的分带特征; 侧向上从矿体向围岩, 成矿元素具有 $\text{CuZn}(\text{Fe})$ 或 $\text{CuPbZn} \rightarrow \text{PbZn}(\text{Cu}, \text{Au}, \text{Ag}) \rightarrow \text{Au}$ 的分带特征, 显示成矿热液叠加复合的分带性, 并指示矿液具有从北东向南西方向迁移的趋势。这也进一步暗示, 该区深部与岩体有关的矽卡岩型矿化为早期成矿, 而后叠加晚期中低温热液成矿作用。

(4) 该矿床可能为与深部隐伏岩浆活动有关的矽卡岩型矿床, 是多期叠加复合成矿作用的结果, 是一个重要的同位、多阶段成矿的典型矿床。铅锌多金属矿化和矽卡岩的多层位分布均受到 F_1 及其次级断裂的明显控制, 近南北向、北东向断裂和碳酸盐岩夹碎屑岩岩性的有机组合是主要的控矿因素。

参考文献(References):

- 陈永清, 卢映祥, 夏庆霖, 等. 云南保山核桃坪铅锌矿床地球化学特征与其成矿模式与找矿模型[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 90-99.
- CHEN Yongqing, LU Yingxiang, XIA Qinglin, et al. Geochemical characteristics of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Baoshan, Yunnan, and its genetic model and ore prospecting model pattern[J]. *Geology in China*, 2005, 32(1): 90-99.
- 邓必芳. 保山-镇康地区汞、铅锌矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 1995, 14(4): 355-364.
- DING Bifang. The metallogenic model of mercury and lead-zinc deposits in Baoshan-Zhenkang area[J]. *Yunnan Geology*, 1995, 14(4): 355-364.
- 符德贵, 崔子良, 官德任. 保山金厂河铜多金属隐伏矿综合找矿[J]. 云南地质, 2004, 23(2): 188-198.
- FU Degui, CUI Ziliang, GUAN Deren. The comprehensive ore-prospecting of Jinchanghe blind multimetallic deposit, Baoshan[J]. *Yunnan Geology*, 2004, 23(2): 188-198(in Chinese with English abstract).
- 李志国, 曾普胜, 符得贵, 等. 云南核桃坪矿集区矿床特征及成因初探[J]. 东华理工学院学报, 2006, 29(3): 211-215.
- LI Zhiguo, ZENG Pusheng, FU Degui, et al. Geological characteristics and primary research on the genesis of the deposits in Hetaoping mineralization-concentrated region[J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 2006, 29(3): 211-215.
- 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geological chronicles of Yunnan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- 陶琰, 胡瑞忠, 朱飞霖, 等. 云南保山核桃坪铅锌矿成矿年龄及动力学背景分析[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1760-1772.
- TAO Yan, HU Ruizhong, ZHU Feiling, et al. Ore-forming age and the geodynamic background of the Hetanping lead-zinc deposit in Baoshan Yunnan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(6): 1760-1772 (in Chinese with English abstract).

梁祥济. 中国矽卡岩和矽卡岩矿床形成机理的实验研究[M]. 北京:学苑出版社,2000.

LIANG Xiangji. Experimental Studies on the Mechanism of the Formation of Skarns and Skarn Ore Deposits in China[M]. Beijing: Academy Press, 2000(in Chinese with English abstract).

薛传东,韩润生,杨海林,等. 滇西北保山核桃坪铅锌矿床成矿流体来源的同位素地球化学证据[J]. 矿床地质, 2008,27(2):243-252.

XUE Chuandong, HAN Runsheng1, YANG Hailin, et al. I-sotope geochemical evidence for ore-forming fluid resources in Hetaoping Pb - Zn deposit, Baoshan, north-western Yunnan[J]. Mineral Deposits, 2008, 27 (2): 243-252.

毛景文,邵拥军,谢桂青,等. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. 矿床地质, 2009, 28 (2): 109-119.

MAO Jingwen, SHAO Yongjun, XIE Guiqing et al. Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposits in Tongling ore dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 2009,28(2):109-119.

L D Meinert. Skarns and skarn deposits[J]. Geoscience Canada,1992.

L D Meinert, GM Dipple. World skarn deposits[J]. Economic Geology,2005.

BAKER T, VAN Ryan AEC, LANG JR. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit. Geology, 2004,32(2):117-120.

玉石沟式铬铁矿

成矿区带:北祁连成矿带(Ⅲ-21)。

建造构造:玉石沟超基性岩体群侵入于晚寒武统一奥陶统的变安山玄武岩、板岩、变砂岩、硅质岩及辉长岩中。北岩体、中岩体、小岩体和南岩体北部纯橄岩-方辉辉橄岩-方辉橄榄岩相带属蛇绿岩套底部的“变质变形地幔橄榄岩”,具变余假斑晶-糜棱结构,矿物具波状、带状消光及膝折带,岩石 m/f 为 9.12~9.87(董显扬,1982)。南岩体南部纯橄岩及辉长岩构成蛇绿岩套堆晶杂岩,铬铁矿体主要产于南岩体南部纯橄岩中(堆晶纯橄岩,m/f 为 9.8),其次产于各岩体变质变形“地幔橄榄岩”中的纯橄岩异离体中(周会武等,1995)。成岩纯橄岩的橄榄石粒径小于 1.5 mm,而成矿纯橄岩的橄榄石粒径可达 2~3 mm(夏林圻,1980)。

成矿时代:晚寒武世-早奥陶世。

成矿组分:Cr,(Os,Ir,Ru 等)。

矿床(点)实例:(青)祁连县玉石沟铬矿床,百经寺、川刺沟脑、边麻沟、拉硐、黑泉河、三岔铬矿点。

简要特征:矿体形态主要为透镜状。矿石类型主要为致密块状矿石、稠密浸染状矿石,次为中等浸染状矿石、稀疏浸染状矿石和星散浸染状矿石。矿石矿物主要为铬尖晶石;非金属矿物有橄榄石、蛇纹石、菱镁矿、绿泥石、滑石等。矿体 Cr₂O₃ 含量平均品位 29.8%~47.92%,玉石沟全矿区平均 30.28%。伴生铂族元素 0.263×10⁻⁶~1.39×10⁻⁶。

成因认识:北祁连晚寒武世-早奥陶世洋盆,地幔岩绝热减压底劈上升发生部分熔融,由于 Cr₂O₃ 的耐火性,决定了矿质大量地留在橄榄岩残余中,熔融形成基性度高、且富挥发分和铬、镁的岩浆囊内结晶中粗粒纯橄岩-方辉橄榄岩及铬铁矿体。亏损地幔高度部分熔融过程也有 Cr₂O₃ 进入岩浆,迁至变质变形地幔橄榄岩带之上岩浆房发生结晶分异,在堆晶岩底部纯橄岩中形成铬铁矿体。

(中国地质调查局西安地质调查中心 杨合群)