云南金顶超大型铅锌矿床地幔流体成矿作用探讨*

An approach to mantle fluid mineralization in the superlarge Jinding Pb-Zn deposit, Yunnan Province

刘显凡,陶 专,卢秋霞,宋祥峰,龙训荣

(成都理工大学,四川 成都 610059)

LIU XianFan, TAO Zhuan, LU QiuXia, SONG XiangFeng and LONG XunRong (Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

摘 要 云南金顶矿床是赋存于第三系沉积碎屑岩中的以铅锌成矿为主的超大型复合矿床,主要由角砾岩型 和砂岩型两类矿体组成。本文重点对两类矿石进行电子探针分析测试发现,矿石中沿碎屑矿物粒间呈网脉状穿插 的脉体或团块,除结晶的碳酸盐矿物外,广泛发育组成为碳酸盐和硫化物的黑色不透明物质,其在高倍放大的扫 描电镜形貌中未显示碳酸盐矿物的结晶形态,表明这些黑色不透明物质应为残余碳酸岩熔浆过冷凝的非晶质固 体。研究认为,这种碳酸岩熔浆是以地幔流体的形式侵位渗透于沉积碎屑岩中进行交代成矿的直接表现。

关键词 超大型铅锌矿床;砂岩型矿石;碳酸岩熔浆;地幔流体交代;云南金顶

金顶矿床是中国重要的,并在国际上具有重大影响的超大型铅锌矿床,过去曾将它作为典型层控(沉积改造)型矿床的 例子,但至今认识并未统一,争议的焦点就是矿质来源问题。随着研究工作的不断深入,人们逐步发现了该矿床成矿作用的 深部过程踪迹,开始认可和接受"深部异地来源或地幔流体交代是该矿床成矿物质和流体来源的重要途径"的认识。然而,由 于不可避免地存在地壳流体和物质的不同程度的混染覆盖,深部过程和地幔流体作用的取证难度较大,因而研究进展缓慢。 本文重点通过对该矿床砂岩型和角砾岩型矿石的电子探针分析测试,发现其间广泛发育的黑色不透明物质为碳酸岩熔浆过冷 凝非晶质固体,为该矿床成矿作用中地幔流体参与成矿提供了重要的直接证据。

1 矿床地质特征

金顶超大型铅锌矿床位于云南省兰坪县金顶镇。在大地构造单元上位于兰坪—思茅中新生代盆地的北部,从地质力学体 系看,属于藏缅歹字型构造体系东支中段偏北,与三江南北向构造体系的复合部位。按照板块构造理论,矿区位于中、印两 大陆板块碰撞带的接合部位。这一构造带,自中生代开始,一直处于活动状态,至喜马拉雅期达到顶峰。

矿区褶皱主要为一穹窿构造,顶部宽缓,与由区域大断裂水平扭力作用下产生的推覆断层共同构成矿区主要控矿构造, 断层由北向南推覆,致使中生代地层倒转叠覆于老第三系云龙组砖红色粉砂岩夹泥砾岩和虎头寺组厚层砂岩之上,并以此为 界,将矿区地层分为外来系统与原地系统两部分。断层上盘为外来系统,由老至新的倒转地层依次为三叠系三合洞组白云质 灰岩、白云质泥岩和黑色泥晶灰岩,中侏罗统花开佐组杂色粉砂质泥岩和粉砂岩互层,下白垩统景新组灰白色细砂岩。断层 下盘为原地系统,由正常层序的老第三系古新统云龙组和虎头寺组构成矿床主要赋矿层位。推覆断层作用形成了规模较大的 构造破碎带,创造了良好的储矿场所,几乎所有的铅锌矿体都产在穹窿构造顶部的推覆断层中。该断裂多期活动,既控制了 矿体的就位和分布,又对矿体进行不同程度的改造,在断裂带内形成了多期、多阶段、多成因矿体;部分矿体延伸至断层上 盘下白垩统景新组。

金顶铅锌矿床由架崖山、北厂、南厂、西坡、白草坪、跑马坪和蜂子山等7个矿段组成,主要发育砂岩型和角砾岩型两

^{*}本文得到中国国家自然科学基金项目(批准号: 40473027)和中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题基金项目(编号: GPMR0509)联合资助 第一体学符合,刘星母, 理, 1057.5.4. 博士, 教授, 世東矿物学, 是石学和矿床地球化学研究, Empili Linvianfon @vin sing.com

第一作者简介 刘显凡,男,1957年生,博士,教授,从事矿物学、岩石学和矿床地球化学研究。Email: liuxianfan@vip.sina.com

类矿体。砂岩型矿体主要分布于北厂矿段,部分产出架崖山和蜂子山矿段;角砾岩型矿体主要出露于架崖山—北厂矿段,其 它5个矿段也广泛产出。

2 砂岩型矿石特征

砂岩型矿石的主体岩性为云龙组粉砂岩夹泥砾岩和虎头寺组厚层石英砂岩,矿体呈层状、似层状或透镜状。矿石粒度和颜色均匀,呈暗灰-黑灰色,细粒砂状结构(如图 1), 块状构造,碎屑矿物以石英为主,少量长石。碎屑矿物间呈基底式胶结,胶结物均呈黑色不透明,约占整个岩石体积的 35%左右,因胶结物滴稀冷盐酸不起泡,且硬度较大,则最初将其黑色不透明解释为硅质被铁染。然而经电子探针对黑色不透明胶结物的成分测定发现,胶结物中并不含铁,而具有菱锌矿组成(见表 1 中第 1 和第 2 数据及对应的图 2 和图 3 所示的 Zn 原子和 C 原子成分峰位图);同时,在黑色不透明胶结物的另一点位还测得方铅矿组成(见表 1 第 3 数据及对应的图 4 和图 5 所示的 Pb 原子和 S 原子成分峰位图)。由此可见,砂岩型矿石的铅锌含量集中分布于黑色不透明的胶结物中。

表1 砂岩型矿石和角砾岩型矿石中电子探针定量成分数据(w_B%)

序号	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Al_2O_3	TiO_2	FeO	SiO_2	总量	矿石类型	矿段	成分峰图	矿物成分
1	4.807	0.454	_	_	_	_	0.017	_	0.464	0.034	5.776	砂岩型	北厂	图 2,图 3	菱锌矿
2	4.588	0.221	0.008	_	0.055	0.031	0.069		6.591	0.094	11.657				
3	—	0.009	0.050	0.025	0.127	0.020	0.133	0.043	0.794	3.527	4.728			图 4,图 5	方铅矿
4	0.682	0.044	_	_	0.062	0.032	_	_	66.821	0.028	67.669	角砾岩型	架崖山	图 3	菱铁矿
5	0.574	0.056	—	—	0.041	0.071	—	0.033	57.790	0.077	58.642			图 5	黄铁矿

注:①仪器型号:JXA-8100;②测试单位和操作技术人员:中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室郑曙高级工程师;③序号1和2两测点定量成分数据与图2和图3配套可确定为菱锌矿组成的固体;④序号3测点定量成分数据与图4和图5配套可确定为方铅矿组成的固体;⑤序号4测点定量成分数据与图3配套可确定为菱铁矿成分的固体;⑥序号5测点定量成分数据与图5配套可确定为黄铁矿(肉眼可见为结晶体)。

3 角砾岩型矿石特征

角砾岩型矿石的主体岩性来自三叠系三合洞组白云质灰岩、白 云质泥岩和黑色泥晶灰岩。矿石呈极不规则聚集状嵌入于架崖山矿 段中,与矿段中呈层状、似层状或透镜状的砂岩型矿石呈破碎状不 规则镶嵌接触,界线截然。矿石呈黑灰色,角砾状结构,块状构造, 角砾约占矿石体积的40%。角砾多为菱角状,形态各异,大小混杂, 无分选性,小角砾直径约在0.5~10 cm,大角砾直径约在20~50 cm, 碎裂纹较发育。值得注意的是,角砾间的胶结物是贯入的结晶方解 石脉和呈网状分布于方解石脉中的黄铁矿细脉(图6);在单偏光显 微镜下(图7),方解石脉呈不同方向贯入,而以黄铁矿为主的细脉 则分布或集中于不同方向贯入的方解石脉之间;经电子探针对黄铁 矿细脉进行成分测定(表1中第四数据和图3配套及第五数据和图 5配套),不仅证实了黄铁矿,而且还测出了菱铁矿成分。这表明角 砾岩型矿石中的黑色不透明物质是贯入方解石脉的结晶演化后的残 余,其原始组成应与砂岩型矿石中黑色不透明胶结物的组成基本一致。



图 1 砂岩型矿石 矿石具砂状结构,呈基底式胶结,碎屑矿物以石英为主,部 分长石;胶结物呈黑色不透明固体,成分为菱锌矿和方铅矿 (单偏光)

东,共原始组成应与砂石空炉口中盖巴小透明胶结初的组成基本-

4 关于黑色不透明胶结物性质的讨论

4.1 晶质或非晶质固体?

从前述 2 类矿石的特征描述和电子探针成分测定发现,其矿石的含矿性和特殊性主要集中于黑色不透明胶结物。如前所述,在砂岩型矿石黑色不透明胶结物中,测得菱锌矿和方铅矿组成;在角砾岩型矿石黑色不透明胶结物中,测得菱铁矿和黄铁矿组成;这 2 组矿物成分,在电子探针和扫描电镜的背散射电子图中的亮度不同,方铅矿和黄铁矿是灰白色,大致可见立方体晶形,而菱锌矿和菱铁矿呈暗灰色,未见晶形;在亮度差异上,既决定于元素的原子序数,也受制于组成矿物的透光性,即:成分的原子序数越高,组成矿物的透光性越差,则其亮度越高;两个因素中,原子序数的决定性大于透光性,这是背散射电子图与矿相显微镜观察矿物的差异。

方铅矿和黄铁矿本身为不透明矿物,而且反光较强,但在常规倍数的反光镜下未见反光特征,结合其在电子图中可见一 定晶形,由此可确定两者在黑色不透明胶结物中呈微晶状态。

菱锌矿和菱铁矿本身为透明矿物,但在透光镜下全无光性,结合其在电子图中未见晶形,由此确定两者在黑色不透明胶 结物中呈非晶体质固体状态。

4.2 熔浆流体或热液流体?

毋庸置疑,分布于两类 矿石胶结物中的黑色不透明 微晶-非微晶质固体应是成岩 后伴随成矿的流体作用结 果。然而,这种流体作用显 然不同于一般的热液流体作 用,可有以下四点分析讨论: (1) 从组成上看,为碳酸盐 和硫化物,不是一般所谓的 热卤水;

(2) 热液流体作用一般表现 为晶质矿物间的固-液交代, 不出现非晶质固相:

(3)微晶-非晶质固相一般出 现在熔浆流体冷凝结晶过程 中的快速过冷凝状态下;

(4) 在砂岩型矿石黑色不透 明胶结物中的碳酸盐和硫化 物呈不均匀混溶状态:在角 砾岩型矿石的胶结物中,方 解石脉呈现为不同方向的侵 入状态, 而硫化物则呈现为 网状和团块状集中分布于不 同方向贯入的方解石脉间, 两种组成之间具有 伴随结 晶过程产生熔离的性质,而 且,微晶硫化物(黄铁矿) 脉中仍残留碳酸盐成分,这 显然是热(溶)液流体不具 备的变化过程或性质。

由此可见,金顶超大型 铅锌矿床矿石中的黑色不透 明胶结物是以碳酸盐为主,



为黑色泥晶灰岩;胶结物约占35%,为方解石脉和 硫化物脉及显微状黑色不透明固体 (手标本照片)

图 7 角砾岩型矿石胶结物特征 矿石具砾状结构,砾石约占65%,呈角砾状,成分透明结晶矿物为方解石脉,黑色不透明物质中含黄铁矿晶 体和菱铁矿非晶质固体 (单偏光)

不均匀混溶硫化物的碳酸岩熔浆流体在成矿作用中过冷凝形成的微晶-非晶质固体。

5 地幔流体作用的直接证据及其成矿意义

目前对地幔流体的认识可以归纳为下列代表性表述:杜乐天(1998)认为地幔流体就是产生于地幔的氢、卤素、碱、碳、 氧、氮、硫间的化合物热流体,其中不包括硅酸盐; Shmulovich et. Al(1995)定义的地幔流体富含地球内部原始成分,同时包 含地壳再循环物质的超临界挥发份系统;曹荣龙等(1995)认为地幔流体是由富含地球内部原始的气体元素(如³He、³⁶Ar等) 和挥发份(如地幔 CO₂、陨石 S、深源 H₂O 等)组成的气体、溶液和挥发份饱和的富碱(K、Na、Li等)硅酸盐熔体;孙 丰月等(1995)认为幔源 C-H-O 流体是一种高温高密度的超临界流体,其中的挥发份主要是 H₂O 和 CO₂,含有 Cl、F、S、P 及惰性气体等组分,可溶解大量的常量及微量元素;刘丛强等(2001)综合国内外研究成果,提出地幔流体是一种来源于地核、 地幔和俯冲板块的脱水和脱气作用,以 H₂O 和 CO₂ 为主,同时含有一定量的溶质成分,相对富集大离子等不相容元素的超 临界流体,其成矿作用表现为本身成矿、提供成矿物质、成矿流体和成矿热动力,重要特征为具有深大断裂构造背景、伴随 幔源岩浆活动、成矿物质和成矿流体具有幔源性,往往形成大型-超大型矿床和矿集区。

从以上主要定义和认识可见,地幔流体究竟是熔体还是溶液亦或气体比较模糊;但"地幔流体是一种源自地幔,包含地 球原始气体和挥发份及碱质的高温超临界流体,并以其超强溶(熔)解和搬运能力使其在起源和运移过程中加入大量成矿元 素及常量和微量元素"的认识似乎是比较一致的。

已有的大量研究表明,碳酸岩是深部地幔岩浆作用的产物。范宏瑞等(2001)认为,碳酸岩熔浆可侵入到大陆和洋壳构造 环境,多数大陆构造环境下的碳酸岩在时间和空间上与地壳减薄事件有关,高温下它具有极强的搬运碱金属、大离子亲石元 素和高场强元素的能力;Liu 等(1999)论述了滇西地区在新生代经历了地幔上隆和地壳减薄的过程;杨学明(1998)等提出, 碳酸岩是大陆岩石圈引张构造环境和地幔交代作用的指示岩石。金顶矿床虽未发现碳酸岩体,但矿石中碳酸岩熔浆流体的发 现可以认为是矿床成矿过程中地幔流体作用的直接微观表现。

由于金顶超大型铅锌矿床赋存于沉积碎屑岩中,因而过去曾将它作为典型层控(沉积改造)型矿床,而现有的大量研究 成果已明显突破了这一认识。王京彬等(1991)通过稀土地球化学研究,认为金顶矿床的成矿物质主要来源于富 CO₂的地幔流 体;张乾(1993)根据铅同位素地球化学研究,认为金顶矿床在同生沉积、沉积改造的基础上,经历了幔源铅叠加成矿的过程; 朱上庆等(2000)指出有迹象表明地幔流体参与了金顶矿床的成矿作用;高兰等(2005)通过矿床实地勘察并根据角砾岩型矿石 中富含沥青,认为构成金顶矿床角砾岩型矿石(体)的角砾岩是具有泥火山性质(机制)的侵位角砾岩,铅锌成矿物质则伴 随泥火山从深部带来。本文研究认为,角砾岩型矿石的胶结物具有明显强烈侵位特征,侵位流体是含有不均匀混溶硫化物熔 浆的碳酸岩熔浆,该熔浆不是以岩浆作用的方式直接侵入或喷出形成碳酸岩体,而是伴随大规模推覆断裂的破碎和运移,一 方面贯入并胶结外来系统的破碎碳酸盐岩角砾而构成角砾岩型矿石(体)。由此可见,两类矿石中黑色不透明微晶-非晶质固 体的特征和组成研究,不仅较好地呼应了前人研究的结论,也从一个新的侧面揭示了地幔流体作用的过程和方式。

与本文有关的地球化学方面的研究工作正在进行中。

致 谢 本文研究工作得到电子探针实验室郑曙高级工程师的热情支持、帮助和指导,在此表示衷心感谢!

参考文献

曹荣龙, 朱寿华. 1995. 地幔流体与成矿作用. 地球科学进展, 10(4): 324~329.

杜乐天. 1988. 幔汁 H-A-C-O-N-S 流体. 大地构造与成矿学, 12(1): 87~94.

范宏瑞, 谢奕汉, 王凯怡, 等. 2001. 碳酸岩流体及其稀土成矿作用. 地学前缘, 8(4): 289~295.

高 兰, 王安建, 刘俊来, 等. 2005. 滇西北兰坪金顶超大型矿床研究新进展: 侵位角砾岩的发现及其地质意义. 矿床地质, 24(4): 457~461.

刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 2001. 地幔流体及其成矿作用. 地学前缘, 8(4): 231~243.

孙丰月, 石准立. 1995. 试论幔源 C-H-O 流体与大陆板内某些地质作用. 地学前缘, 2(1-2): 167~174.

王京彬, 李朝阳. 1991. 金顶超大型铅锌矿床 REE 地球化学研究. 地球化学, 19(4): 359~365.

杨学明, Le Bas M J, 杨晓勇. 1998. 碳酸岩是大陆岩石圈构造背景和地幔交代作用的指示岩石. 地球物理学报, 41(增刊): 228~235.

张 乾. 1993. 云南金顶超大型铅锌矿床的铅同位素组成及铅来源探讨. 地质与勘探, 29(5): 21~28.

朱上庆, 覃功炯, 温春齐, 等. 2000. 金顶超大型陆相碎屑岩铅锌矿床[A]. 涂光炽, 中国超大型矿床(I). 北京: 科学出版社. 65~87.

Liu X F, Zhan X Z, Gao Z M, et al. 1999. Deep Xenoliths in alkalic porphyry, Liuhe, Yunnan, and implications to petrogenesis of porphyry and associated mineralizations. Science in China (Series D), 42(6): 627~635.

Shmulovich, K I, Yardleyb W D and Conchar G G. 1995. Fluids in the Crust. Moscow: Chapman and Hall Press.