

云南金顶铅锌矿床成矿物质来源及有机成矿作用

王新利^{1,2}, 杨树生¹, 庞艳春², 付修根³, 李德亮²

(1. 鑫达金银开发中心, 北京 100038; 2. 成都理工大学 沉积地质研究院,
四川 成都 610059; 3. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 分析了金顶铅锌矿床同位素及生物标志化合物特征, 探讨了矿床成矿物质来源及有机成矿作用。结果表明, 矿石铅主要来自上地幔, 成矿流体主要为地幔流体和盆地卤水。矿区有机质的母质来源以低等水生生源的海藻类为主, 同时伴随有一定量的陆源高等植物组分的输入, 有机质来源于三叠纪三合洞组碳酸盐岩地层。有机质在成矿作用中可能起到的作用有: 还原硫酸盐提供成矿所需的硫源; 形成有机-金属络合物, 活化运移成矿金属元素; 改变成矿物理化学环境对成矿物质的还原沉淀作用。

关键词: 有机成矿作用; 金顶铅锌矿床; 成矿物质来源; 生物标志物; 云南

中图分类号: P618.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)04-0376-07

Ore Sources and Organic Mineralization in the Jinding Lead-Zinc Deposit, Yunnan Province

WANG Xin-li^{1,2}, YANG Shu-sheng¹, PANG Yan-chun², FU Xiu-gen³, LI De-liang²

(1. Xinda Gold and Silver Development Center, Beijing 100038, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: This paper focuses on discussing the origin of ore-forming substances and organic mineralization through analyzing the isotope and biomarker compounds of Jinding Lead-zinc Deposit. The result shows that most of lead metal in the ore originated from upper mantle and the ore-forming fluids mainly derived from mantle fluids and basin saline. The matrix of organic substances mainly derived from low-grade water-sourced algae, while associated with a certain amount of high-grade continent-sourced botanic components. Organic substance derived from carbonate rocks in Triassic Sanhedong Formation. The roles organic substance possibly playing among the forming process of Jinding lead zinc deposit are: deoxidized the sulfate to produce the sulfur which needed in ore-forming process; formed organic complex and metallic complex; activated and transited ore-forming metallic elements; changed the physical-chemical environment of ore-formation; deoxidized and deposited ore-forming materials.

Key words: organic mineralization; Jinding Lead-Zinc deposit; Ore source; Biomarker; Yunnan

0 引言

有机成矿作用指生物及其衍生的有机质以及各种有机流体在沉积、成岩及成矿过程中对成矿元素发生的作用。20 世纪 70 年代以前, 有机成矿作用研究主要集中在地表环境, 所涉及的矿床主要是

沉积作用明显、后期改造作用不大的金属和非金属矿床。随着研究的深入, 前人发现生物有机质不仅在表生环境下对矿床的形成起作用, 而且从成矿元素的活化、迁移到成矿流体的定位、富集的整个过程中均有重要作用^[1-4]。研究范围也扩展到一些典型的层控矿床、火山沉积矿床、沉积改造矿床和某

收稿日期: 2008-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472013; 40743016); 教育部博士点专项基金项目(20070616014)

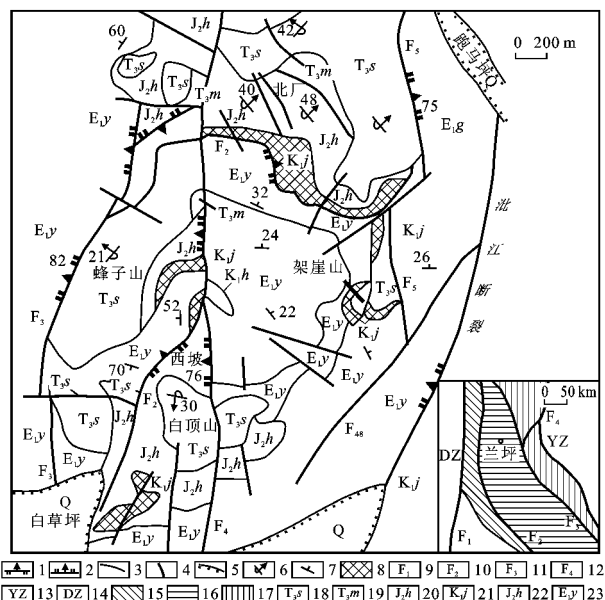
作者简介: 王新利(1981-), 男, 内蒙古赤峰人, 工程师, 理学硕士, 从事盆地流体与金属矿床关系研究。E-mail: wangxinliyu@tom.com

些典型的热液矿床中^[5]。

位于云南西北部的金顶铅锌矿床不仅在上形成时代最新^[6], 而且是唯一陆相碎屑沉积岩容矿的超大型铅锌矿床^[7], 是中国目前最大的铅锌矿床, 也是世界上铅锌总储量大于 $1\,000 \times 10^4$ t 的 17 个超大型铅锌矿床之一^[8]。野外地质观察表明, 该矿床存在大量的有机质^[9-14], 这些有机质主要有 2 种赋存状态: ①肉眼可见的有机质, 主要为碳沥青, 以层状或脉状赋存在三合洞组灰岩内以及以溶孔状赋存在角砾型矿石的晶洞中, 与矿石密切共生; ②以吸附有机质的形式赋存在矿区各地层及矿石中, 肉眼看不见, 敲击后有明显的油气味道。室内薄片初步研究发现, 在矿床主成矿期成矿流体中, 存在着数目不等的有机包裹体。这些特征均表明, 成矿介质与有机质之间存在着一定的关系。那么, 在金顶矿床形成过程中, 这些与矿石共生的有机质是否会起到作用, 将起到什么样的作用? 为了解决这个问题, 首先就要考虑矿区有机质及矿石中成矿物质的来源问题。成矿物质指成矿元素以及搬运它的介质成矿流体, 因而成矿物质来源包括成矿元素和成矿流体的来源。任何一个矿床中的成矿物质总会在成矿流体中有所显示, 而且会不同程度地为成矿流体所搬运, 因而任何成矿作用的物源都应该包括成矿物质的来源和成矿流体的来源。二者有时一致, 即来自同源; 有时不一致, 来自异源。矿床成矿物质的来源在很大程度上决定了矿床的成因, 对于与热液活动有关的矿床来说, 矿床成矿物质来源的研究就更加重要。笔者通过同位素与生物标志化合物两方面对金顶铅锌矿床的成矿物质来源及有机成矿作用展开讨论。

1 矿床地质概况

金顶超大型铅锌矿床位于中—印两大板块碰撞带的结合部位、澜沧江与金沙江—哀牢山两个构造带之间的昌都—思茅微陆块上兰坪—思茅中新世盆地的北部, 东侧与扬子板块相接, 西侧与藏滇板块毗邻。该区自中生代开始, 一直处于活动状态, 至喜马拉雅期达到顶峰^[15]。金顶矿区位于泚江断裂西侧, 宏观上为一顶部宽缓的穹窿构造, 由北厂、架崖山、蜂子山、西坡、南厂、白草坪和跑马坪 7 个矿段组成, 面积约 11 km^2 (图 1)。矿区地层分为原地系统和外来系统: 原地系统由白垩系虎头寺组 (K_2h) 紫灰色至浅灰色厚层状细粒石英砂岩、含长



- 1—逆冲推覆断层; 2—正断层; 3—地质界线; 4—性质不明断层;
- 5—不整合界面; 6—倒转岩层产状; 7—正常岩层产状; 8—铅锌矿体; 9—怒江断裂带; 10—澜沧江断裂带; 11—金沙江—哀牢山断裂带; 12—中甸—剑川断裂带; 13—扬子陆块; 14—滇藏地块;
- 15—碧罗雪山—临沧造山带; 16—兰坪盆地; 17—金沙江—哀牢山造山带; 18—三合洞组; 19—麦初箐线; 20—花开左组; 21—景星组; 22—虎头寺组; 23—云龙组; 据文献 [16-17] 修改

图 1 云南金顶铅锌矿床矿区地质

Fig. 1 Geological Map of the Jinding Lead-Zinc Ore District Yunnan Province

石英砂岩和古新统云龙组 (E_1y) 紫红色粉砂岩、泥岩、角砾岩及含盐建造组成; 外来系统地层倒转推覆于原地系统之上, 自下而上为下白垩统景星组 (K_1j) 石英砂岩, 中侏罗统花开左组 (J_2h) 紫红色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩, 上三叠统麦初箐组 (T_3m) 灰色、黑灰色泥岩、粉砂岩和上三叠统三合洞组 (T_3s) 深灰色含泥质灰岩及泥灰岩、沥青质灰岩、泥质白云岩。

铅锌矿体分为上下两层, 下矿层产于云龙组上段, 上矿层产于白垩系景星组中。赋矿地层景星组和云龙组上段的岩性都是高孔隙度、高渗透率的岩石, 有利于成矿热液的流动。而矿体顶板及底板均为以泥岩为主的细碎屑岩层, 起到了上下隔挡层的作用, 形成圈闭有利于成矿^[18-19]。矿体呈板状、层状和透镜状沿外来系统与原地系统之间的主推覆构造面分布, 穹窿化发展到晚期出现破裂, 从而形成放射状张性断裂, 使矿区岩层和矿体呈现出目前所见的断续分布特点。北、西两翼保存较好, 东、南两翼因剥蚀残存不全^[19], 并且越靠近穹窿顶部矿体越

厚^[19],反映推覆构造和热穹窿对成矿的双重控制,前者是成矿的空间准备,后者是成矿的内在源动力^[20]。按赋矿岩性矿石类型分为角砾岩型和砂岩型。

在矿床主成矿阶段的成矿流体中,存在着数目不等的有机包裹体,其与盐水包裹体共处同一成矿阶段。包裹体的赋存矿物主要有闪锌矿、方解石、石英和天青石,其中以方解石中赋存最多。这些包裹体大多非常细小,几乎小于 5 μm,少数大于 5 μm。有机包裹体的成分以气相为主,颜色常见为无色、黑色或浅灰色,形态以半规则到不规则状为主,它们成群或孤立地分布于矿物晶格的缺陷内,属于原生包裹体。

2 成矿金属及成矿流体来源

2.1 成矿金属来源

铅同位素是示踪矿床成矿金属来源的有力工具,在自然界中铅同位素几乎不发生分馏作用,其组成变化主要是由放射性铀、钍衰变反应所引起的,与任何物理、化学条件的变化无关。因此,矿石矿物中的铅同位素组成及其变化就反映其地质演化历史,同时,将铅同位素作为示踪剂,根据矿石矿物的铅同位素组成和它们之间的关系就可以判断物质来源。

金顶矿床矿石铅同位素组成(表1):方铅矿 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 18 168~18 303, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 15 345~15 501, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 37.803~38.291;闪锌矿 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 18.217~18.401, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 15.374~15.407, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 38.106~38.297;黄铁矿的 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 18.262~18.402, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 15.468~15.542, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 38.168~38.329。可以看出,尽管分析的矿物不同,金顶铅锌矿床铅同位素组成变化范围不大,表明铅同位素组成较稳定。

铅同位素组成对比(表1)表明,矿石铅同位素组成与地幔铅同位素组成非常相似,反映矿石铅源可能为地幔铅。通常认为,铅同位素源区特征值尤其是 μ 值的变化能提供地质体经历地质作用的信息,反映铅的来源^[21]。一般认为地幔原始铅的 μ 值为 7.3~8.0^[22],来自上地幔铅的 μ 值小于 9.58,而来自上地壳铅的 μ 值大于 9.58^[22]。金顶矿床矿石铅同位素源区特征值 μ 值为 8.97~9.47,小于 9.58,表明矿石铅为上地幔来源。将矿石铅同位素组成投影到铅源区构造模式图上(图 2),可以看出大部分投影

表 1 云南金顶铅锌矿床铅同位素组成

Tab. 1 Lead Isotope Composition in Jinding Lead-Zinc Deposit, Yunnan Province

样号	测试矿物	$N(^{206}\text{Pb})/$ $N(^{204}\text{Pb})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{204}\text{Pb})$	$N(^{208}\text{Pb})/$ $N(^{204}\text{Pb})$	μ 值	资料来源
YN10-1	方铅矿	18.172	15.345	37.803	8.99	
YN38-2	方铅矿	18.169	15.351	38.123	8.97	
TY37	方铅矿	18.283	15.462	38.296	9.21	
TY38	方铅矿	18.221	15.422	38.093	9.13	参考
YN41	方铅矿	18.289	15.451	37.993	9.08	文献 [19]
YN59	方铅矿	18.187	15.391	37.889	9.07	
TY42	方铅矿	18.168	15.361	38.042	9.02	
TY39	方铅矿	18.207	15.377	38.007	9.05	
82J-9	方铅矿	18.303	15.501	38.291	9.27	参考
82J-18	方铅矿	18.232	15.476	38.174	9.23	文献 [23]
82J-7	方铅矿	18.285	15.491	38.301	9.25	
J65	闪锌矿	18.401	15.607	38.216	9.47	
J27	闪锌矿	18.326	15.489	38.161	9.25	
J28	闪锌矿	18.285	15.471	38.297	9.22	参考
J60	闪锌矿	18.232	15.435	38.106	9.15	文献 [24]
J61	闪锌矿	18.217	15.374	38.124	9.04	
J27	黄铁矿	18.351	15.499	38.168	9.26	
J60	黄铁矿	18.402	15.542	38.329	9.34	参考
J29	黄铁矿	18.345	15.524	38.283	9.31	文献 [24]
J61	黄铁矿	18.262	15.468	38.203	9.21	
	地幔	18.01	15.47	37.71	<9.58	参考文献
	造山带	18.89	15.61	38.81		[22, 23]
	上地壳	19.44	15.70	39.19	>9.58	

点都落在大洋中脊玄武岩铅区内,少部分落在大洋中脊玄武岩铅附近及太平洋西岸岛弧铅分布区域中。一般来说,大洋中脊玄武岩是上地幔岩浆直接喷发的产物,因而表明矿床矿石铅主要来自上地幔。

综上所述,可以认为金顶矿床矿石中的铅主要来自上地幔。兰坪盆地具有大规模有效沟通地幔的盆地动力学机制,成矿金属元素沿盆地断裂系统上升到地壳浅部富集成矿^[19]。

2.2 成矿流体来源

王彦斌等^[26]对金顶矿床主成矿期热液方解石的氧、碳同位素组成研究显示,热液中 CO₂ 起源于沉积碳酸盐岩和地层有机质分解,代表盆地卤水系统。温春齐等^[27]对矿床成矿流体氢氧同位素组成研究表明成矿流体以盆地卤水为主。薛春纪等^[28]对矿床主成矿阶段的原生流体包裹体的惰性气体同位素研究认为,包裹体是同一期热液作用所捕获的,它们的主要寄主矿物是黄铁矿、闪锌矿、天青石

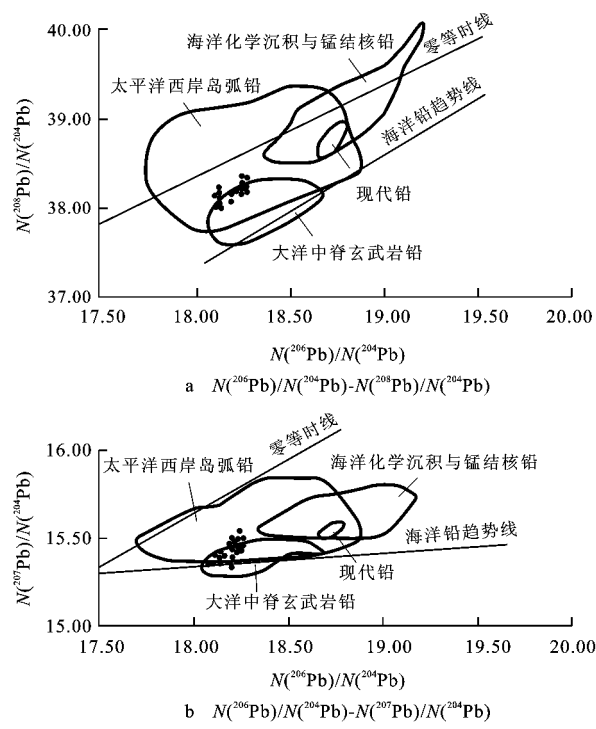


图 2 云南金顶铅锌矿床矿石矿物铅同位素源区构造模式
Fig. 2 Tectonic Framework Diagram of Lead Source of Ore Mineral in Jinding Lead-Zinc Deposit Yunnan Province

表 2 金顶铅锌矿床矿石与岩石中有机质的氯仿沥青“ A ”族组成特征

Tab. 2 Chloroform Bitumen “ A ” and Its Compositions of the Organic Matter in Ores and Rocks in Jinding Lead-Zinc Deposit							
样品号	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	烷烃+芳烃	非烃+沥青质	(非烃+沥青质)/(烷烃+芳烃)
2XB004	54.05	12.16	29.73	4.05	66.21	33.78	0.51
2JYB	23.70	14.45	15.61	34.10	38.15	49.71	1.30
FB07	35.29	17.65	31.09	2.52	52.94	33.61	0.63
FB04	30.42	19.90	33.17	6.80	50.32	39.97	0.79
BB08	25.93	27.78	22.22	16.05	53.71	38.27	0.71
JB12	38.46	11.54	47.44	3.85	50.00	51.29	1.03

注: 2XB004、FB07 为砂岩型矿石样品; 2JYB 为角砾岩型矿石内沥青样品; FB04 为花开左组粉砂岩样品; BB08 为三合洞组含沥青灰岩样品; JB12 为云龙组泥质砂岩样品; $w_B/\%$

程度的热降解和生物降解。热降解型有机质基线较为平直, 稍有隆起, 各峰顶连线圆滑^[29], 以样品 2XB004、FB07 和 BB08 为代表; 而生物降解型有机质总离子流图的最大特征是基线隆起明显, 呈特征的鼓包状, 反映在饱和烃中含有大量未被分解的复杂混合物, 但是正构烷烃已经基本消失。这些特点均表明有机质遭受过水洗或细菌类微生物的强烈降解^[30], 以样品 JB12、2JYB 和 FB04 为代表。

6 个岩矿石样品中, 检测出三环萜烷、五环三萜烷和少量的四环萜烷、莫烷和伽马蜡烷, 其相对丰度由大到小为: 五环三萜烷、三环萜烷、四环萜烷。甾烷类有机分子中检测出少量孕甾烷($C_{21}H_{36}$)、升

和重晶石。大规模成矿主阶段流体的惰性气体同位素组成及演化显示了成矿流体中含有地幔来源的 He、Ne、Xe, 表明地幔流体对成矿具有重要意义。综合上述分析表明, 金顶矿床成矿流体主要为地幔流体和盆地卤水。

3 有机质来源

3.1 有机质生物标志物特征

矿区 6 件样品经索氏抽提结果表明(表2), 砂岩型矿石吸附有机质族组分以饱和烃和非烃为主, 相对平均质量分数分别为 44.67% 和 30.41%; 沥青质较低, 相对平均质量分数为 3.29%; 角砾型矿石中的有机质沥青质较高, 达到 34.10%。与角砾型矿石相比, 砂岩型矿石中有机质的 $w(\text{非烃} + \text{沥青质})/w(\text{烷烃} + \text{芳烃})$ 较低, 平均为 0.57。

饱和烃总离子流图(图3)显示, 样品的正构烷烃有两种峰型, 三合洞组灰岩和角砾状矿石显示双峰, 碳数分布范围 $nC_{15} \sim nC_{31}$, 主峰碳为 C_{17} 和 C_{29} 。其他样品均呈前高单峰型分布, 碳数分布范围主要为 $nC_{15} \sim nC_{30}$, 主峰碳为 C_{17} , 具低碳数优势, 显示轻烃组分占绝对优势。矿区有机质均遭受了一定

孕甾烷($C_{22}H_{38}$)和规则甾烷($C_{27} \sim C_{29}$), 其中以规则甾烷为主, 规则甾烷 $C_{27} \sim C_{28} \sim C_{29}$ 呈不对称“V”字型分布。还检测出 C_{20} 、 C_{21} 、 $C_{26} \sim C_{28}$ 三芳甾类烃, 相对含量以 C_{26} -三芳甾类烃(20R)和 C_{27} 三芳甾类烃(20S)含量最高。有机质母源输入以海相绿藻占优势的水生低等的藻类生物为主, 同时有一定量的陆源物质输入, 有机质成熟度较高。

3.2 有机质来源

由于生物标志化合物结构上的继承性和稳定性, 有亲缘关系的有机质之间指标近似, 而无亲缘关系的有机质之间生物标志物指标则会有较大差异^[31-32]。通过对比生物标志物的特征来追踪有机

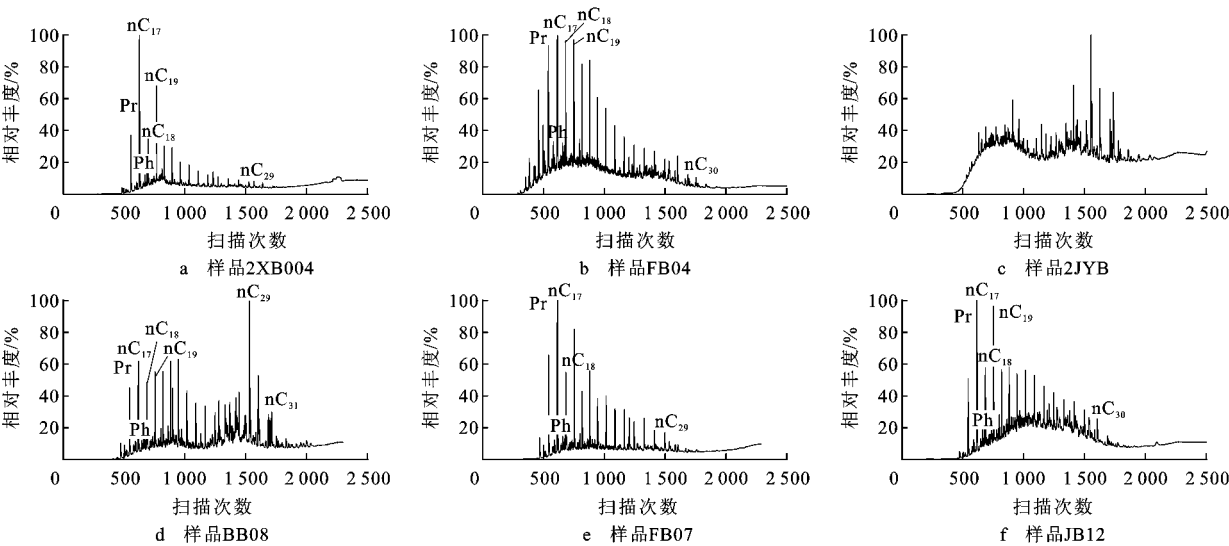


图 3 金顶铅锌矿床样品总离子流

Fig. 3 Total Ion Current Diagram of Some Samples from Jinding Lead-Zinc Deposit

质的来源在油气地质领域已经作为一种成熟方法广泛应用于生产实践,而在金属矿床研究领域应用不多。笔者选取了 2 个类异戊二烯烷烃参数,2 个萜烷参数,4 个甾烷参数和 1 个芳烃参数来与三合洞组灰岩进行综合对比(表 3),这些参数包括了有机质母源参数和成熟度参数。

表 3 金顶铅锌矿床有机质生物标志物参数对比

Tab. 3 Geochemical Parameters Contrast of Biomarker of Samples in Jinding Lead-Zinc Deposit

样号	甾烷参数			
	5 α -C ₂₇ / 5 α -C ₂₉	5 α -C ₂₈ / 5 α -C ₂₉	C ₂₉ 22S/ %	C ₂₉ $\beta\beta$ / ($\beta\beta$ + $\alpha\alpha$)
2XB004	1.34	0.73	0.36	0.43
FB07	0.74	0.62	0.37	0.44
JB12	1.14	0.73	0.39	0.41
2JYB	1.24	0.32	0.45	0.55
FB04	1.37	0.63	0.48	0.44
BB08	1.41	0.82	0.48	0.57

样号	萜烷参数		芳烃参数 C ₂₇ (20R)/ C ₂₈ (20R)	类异戊二烯烷烃参数	
	$\beta\alpha$ -莫烷/ $\alpha\beta$ -藿烷	C ₃₂ 22S/ %		Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
2XB004	0.09	0.60	0.78	0.51	0.25
FB07	0.12	0.60	0.73	0.93	0.25
JB12	0.11	0.62	0.67	0.84	0.26
2JYB	0.08	0.56	0.75		
FB04	0.14	0.62	0.81	0.99	0.17
BB08	0.06	0.54	0.56	0.79	0.22

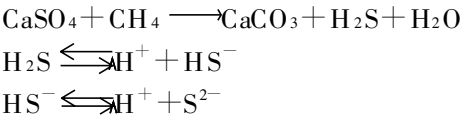
通过 9 项生物标志化合物参数的综合对比,金顶矿区矿石及云龙组和花开左组地层中的有机质与矿区三合洞组赋存的有机质各个参数都非常相近,显示它们之间极具亲缘关系。前述矿床有机质的母质来源是以低等海相藻类生物为主,混有一定

比例的陆源组分,这与三叠系三合洞组海陆交互相的沉积环境相符合^[17],表明矿区广泛存在的有机质都来源于三叠纪三合洞组地层,这与矿区有机质微量元素特征分析结果相一致(另文发表)。以上分析表明,成矿金属来源于上地幔,成矿流体主要为地幔流体和盆地卤水,而有机质则来源于三叠纪三合洞组地层。

4 有机成矿作用

4.1 生物还原硫酸盐提供成矿所需硫源

要形成铅锌硫化物矿床,就必须要有大量的还原硫。前人在研究密西西比河谷型铅锌矿床时认为,在有石油或沥青沉积物存在的情况下通过硫酸盐还原细菌可提供大量的硫。微生物地球化学理论认为微生物生存的温度范围为-10~105℃^[32]。在这种温度条件下,硫酸盐还原细菌能够产生足够的硫以供给生成硫化矿石的需要⁹。总结金顶矿床流体包裹体测温数据,矿床成矿温度分为 50~100℃、110~150℃、160~240℃和 240~360℃4 个明显的温度段^[7,27]。有机质还原硫酸盐的作用主要发生在 50~100℃阶段,可以用下列反应式表示^[18]



金顶矿区含矿岩系云龙组含有蒸发岩建造,矿化和硬石膏伴生。区域中、上三叠统和中、上侏罗统两个蒸发岩建造主体也是石膏、硬石膏,这些厚大的

硬石膏层为生物还原硫提供了广泛的物质基础^[18]。

4.2 活化迁移作用

有机地球化学研究表明,有机-金属络合物具有很高的稳定性,即使浓度很低也是这样。有机化合物中一般都存在着相当数量的亲水官能团,这些官能团能与多种金属离子螯合生成可溶性络合物,从而大大增加了它们从矿物和岩石中淋滤浸出以及在水溶液中的迁移能力^[33]。Macgroman等^[34]实验证明,在羧酸阴离子和酚类有机质的作用下,容易形成金属有机络合物迁移。傅家谟等^[35]也经过实验证明,含有机质的水溶液比单纯只含无机盐的水溶液矿质的溶解度一般可高达几倍到十几倍,有机配位基和铅、锌等元素形成稳定的可溶性金属-有机络合物在水溶液中具有良好热稳定性(180~240℃),此温度范围恰好是金顶矿床形成过程中的中温成矿阶段。当成矿流体遇到热异常或自身温度升高后(>240℃),液态金属有机络合物发生化学变化如裂解而转化为小分子的气态有机物并同时沉淀出金属元素^[36]。这种成矿机制简述为“低温迁移、高温沉淀”,是一种有别于一般成矿过程特殊的成矿机制^[9],金顶矿床成矿热液沿盆地断裂系统上升到地壳浅部后在盆地卤水中运移时可能存在这种成矿机制。

利用电子探针中对与矿石共生的有机质测试研究发现,含有一定的铅锌元素,尤其富含锌,高者达到 67.25×10^{-6} ^[14],这进一步证实铅、锌等元素曾在有机质中运移。

4.3 还原沉淀作用

矿区有机质成熟度很高,在这种高成熟度条件下,有机质应以烷烃和芳烃为主,非烃和沥青质非常少;而事实上矿床部分与矿石共生的有机质样品中非烃和沥青质的含量却很高(表2),这种现状说明有机质曾遭受过富氧或 SO_4^{2-} 流体的氧化,因为氧化作用使烷烃转化为酮、醇等,而芳烃转化为酚等,使有机质中的非烃和沥青质组分增加^[37]。在此反应过程中,有机质起到了还原剂的作用。

金顶矿区主成矿阶段,有机包裹体和盐水溶液包裹体紧密共生,是该区成矿流体重要特征,表明在矿床主要成矿阶段,不同性质的流体混和可能是导致成矿的重要原因之一^[38]。有机质本身就是直接的强还原剂,羧酸阴离子可能是溶液中 $[\text{H}^+]$ 的主要来源或受体,因此它们直接或间接地控制了成矿流体的pH值;在80~120℃条件下,溶液中pH值典

型由羧酸阴离子控制^[38]。当固体有机质与不同氧化-还原状态的流体接触或有机流体与不同氧化-还原状态的流体混和时,发生强烈的还原反应,由于流体混和时的反应速率比通常意义上的水-岩反应速率快且影响范围大^[39],会引起流体系统成矿物理化学参数(如温度、盐度、pH值和Eh值等)的突变,最终导致成矿元素沉淀,形成铅锌矿床。

4.4 矿床有机成矿作用简述

金顶地区中—新生代沉积盆地在沉积压实作用下形成的盆地内部自生流体在循环运移过程中,将盆地中含盐建造内大量的盐类物质溶解,形成盆地卤水。卤水温度不断上升,在运移过程中同时萃取岩石中的铅锌等组分,逐渐形成一种具有较高温度的含矿热卤水。由于盆地中含有大量的有机质,含矿热卤水与有机质发生络合反应,铅、锌等金属离子与有机质形成性质稳定的络合物一起运移。

金顶矿区组成含矿层的岩石多为灰岩角砾岩、灰岩大岩块以及高孔隙度的砂岩,这些岩石因构造运动形成了一系列大大小小的断层、穹隆、裂隙、溶洞和破碎带,含矿层底板为透水性很差的红层,顶板为推覆构造形成的隔挡层。因此这种岩性组合便为自深处上升的含矿热液提供了良好地运移通道及有利的赋存空间。由于含矿层岩石中含有大量的有机质,容易造成成矿物理化学条件的改变而导致成矿物质的沉淀富集。

当富含有机质的盆地热卤水与具有较高温度的深部含矿流体相接触或遇到局部热异常时,这些有机质便不再稳定,有机分子将重新排列,一些官能团和碳键依次断裂,新形成中低分子量的烃类有机质以及 CO_2 、 H_2O 、 H_2S 、 CH_4 等,使其与热液存在的环境达到新的物理化学平衡,由于金属有机络合物发生分解并释放出金属元素,产生成矿物质的卸载和富集。

5 结语

(1)矿区有机质的母质来源以低等水生生源的海藻类为主,同时伴随有一定量的陆源高等植物组分的输入,样品均受到一定程度的热解,部分样品还遭受了生物降解作用。

(2)矿石铅主要来自上地幔,成矿流体主要为地幔流体和盆地卤水,矿区的有机质来源于三叠纪三合洞组碳酸盐岩地层。

(3)有机质在成矿作用中可能起到的作用有:

生物还原硫酸盐提供成矿所需的硫源;形成有机-金属络合物,活化运移成矿金属元素;改变成矿物理化学环境对成矿物质的还原沉淀作用。

成文中得到成都理工大学林丽教授的悉心指导以及审稿人提出的宝贵意见,在此一并谢忱。

参考文献:

- [1] Giordano T H, Barnes H L. Lead-Zinc Transport in Mississippi Valley-type Ore Solutions[J]. *Economic Geology*, 1981, 76: 2200-2211.
- [2] Manning D A, Gize A P. Organic Geochemistry: Principles and Application[M]. New York: Plenum Press, 1993.
- [3] Dianar J R, Sureau J F. Organic Matter in Ore Genesis: Process and Perspectives[J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16: 577-599.
- [4] Dianar J R. A Comparison of Mineralization Histories for Two MTV Deposits, Trèves and Malines (Causses Basin, France), Based on the Geochemistry of Associated Organic Matter[J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11: 133-156.
- [5] 张志坚, 张文淮. 有机成矿流体研究进展[J]. *地质科技情报*, 1998, 17(2): 45-50.
- [6] Xue C J, Liu S W, Chen Y C, et al. Giant Mineral Deposits and Their Geodynamics Setting in the Laping Basin, Yunnan, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(2): 368-374.
- [7] 薛春纪, 陈毓川, 杨健民, 等. 金顶铅锌矿床地质-地球化学[J]. *矿床地质*, 2002, 21(3): 270-277.
- [8] 覃功炯, 朱上庆. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测[J]. *云南地质*, 1991, 10(2): 145-190.
- [9] 胡明安. 有机质的热液成熟作用在云南金顶铅锌矿床形成过程中的意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 503-512.
- [10] 薛春纪, 陈毓川, 杨健民, 等. 滇西北兰坪铅锌银铜矿田含烃富 CO₂ 成矿流体及其地质意义[J]. *地质学报*, 2002, 76(2): 244-253.
- [11] 薛春纪, 高永宝, 曾 荣, 等. 滇西北兰坪盆地金顶超大型矿床有机岩相学和地球化学[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2889-2900.
- [12] 常向春, 张金亮. 金顶铅锌矿区中原油地球化学特征及其意义[J]. *特种油气藏*, 2003, 10(5): 15-19.
- [13] 付修根, 林 丽, 庞艳春, 等. 金顶铅锌矿床中碳沥青的分布特征及成矿作用[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2005, 35(5): 581-586.
- [14] 付修根, 林 丽, 庞艳春, 等. 云南金顶铅锌矿床中的有机质特征及成矿作用探讨[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2006, 33(6): 621-630.
- [15] 刘显凡, 陶 专, 卢秋霞, 等. 云南金顶超大型铅锌矿床地幔流体成矿作用探讨[J]. *矿床地质*, 2006, 25(增刊): 79-82.
- [16] 云南地质矿产局第三地质大队. 云南省兰坪县金顶铅锌矿床勘探地质报告[R]. 昆明: 云南省地质矿产局, 1984.
- [17] 陶晓风, 朱利东, 刘登忠, 等. 滇西兰坪盆地的形成及演化[J]. *成都理工学院学报*, 2002, 29(5): 521-525.
- [18] 高建华. 滇西金顶铅锌矿床和蒸发岩建造成因关系的初步探讨[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 513-522.
- [19] 曾 荣, 薛春纪, 刘淑文, 等. 金顶超大型铅锌矿床成矿条件分析[J]. *地球科学与环境学报*, 2005, 27(2): 21-25.
- [20] 薛春纪, 陈毓川, 杨健民, 等. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析[J]. *矿床地质*, 2002, 21(1): 36-44.
- [21] 温春齐. 矿床学研究方法[R]. 成都: 成都理工大学, 2003.
- [22] 朱上庆, 黄华盛. 层控矿床地质学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988.
- [23] 张 乾. 云南金顶超大型铅锌矿床的铅同位素组成及铅来源探讨[J]. *地质与勘探*, 1993, 29(5): 21-28.
- [24] 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [25] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics: the Model[J]. *Tectonophysics*, 1981, 75: 135-162.
- [26] 王彦斌, 曾普胜, 李延河, 等. 云南金顶和白秧坪矿床 He、Ar 同位素组成及其意义[J]. *矿物岩石*, 2004, 24(4): 76-80.
- [27] 温春齐, 蔡建明, 刘文周, 等. 金顶铅锌矿床流体包裹体地球化学特征[J]. *矿物岩石*, 1995, 15(4): 78-84.
- [28] 薛春纪, 陈毓川, 王登红, 等. 滇西北金顶和白秧坪矿床: 地质和 He、Ne、Xe 同位素组成及成矿时代[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33(4): 315-322.
- [29] Moldowan J M, Sundaraman P, Schoell M. Sensitivity of Biomarker Properties to Depositional Environment and/or Source Input in the Lower Toarcian of Southwest-Germany[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10: 915-926.
- [30] 苏晶文, 胡 凯, 李 颢. 粤北凡口超大型铅锌矿有机质成矿地球化学特征[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(1): 58-66.
- [31] 曾宪章, 梁狄刚, 王忠然, 等. 中国陆相原油和生油岩中的生物标志物[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1989.
- [32] 王启军, 陈建渝. 油气地球化学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1988.
- [33] 刘建明, 刘家军, 顾雪祥. 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用[J]. *岩石矿物学杂志*, 1997, 16(4): 341-352.
- [34] Macgroman D, Sundam R C. Difunctional Carboxylic and Acid Anions in Oilfield Waters[J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 12: 245-259.
- [35] 傅家谟, 刘德汉, 卢家烂. 有机质演化对金属元素离散和富集的控制作用[R]. 广州: 中国科学院有机地球化学开放实验室, 1986.
- [36] 张志坚, 张文淮. 滇黔桂地区低温矿床有机成矿流体与矿化的关系[J]. *矿物学报*, 1997, 17(4): 483-490.
- [37] 谢树成, 殷鸿福. 南京栖霞山铅锌银多金属矿床的生物成矿作用[J]. *高校地质学报*, 1997, 3(2): 192-201.
- [38] 张文淮, 张志坚, 伍 刚. 成矿流体种类和成矿机理[J]. *地学前缘*, 1996, 3(4): 245-252.
- [39] 谢 徽. 北大巴山大型毒重石矿床的有机地球化学特征及形成环境[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.