

吉林荒沟山铅锌矿床地质特征及矿床成因探讨

冯守忠 孙 超 黄林日

(吉林有色金属矿产地质研究所,吉林 长春 130012)

摘 要 :吉林荒沟山铅锌矿床赋存于中元古界老岭群珍珠门组白云石大理岩中,层控特征明显。通过对矿床地质、成矿元素 Zn/Pb 比值、方铅矿和闪锌矿中的微量元素、硫和铅同位素组成特征、矿物包裹体成分特征、矿源层特征等的讨论,认为本矿床为一沉积改造型层控矿床。沉积作用是本矿床成矿物质来源的基础,改造作用是形成本矿床的主要因素。珍珠门组是提供成矿物质来源的重要矿源层。

关键词 :荒沟山;铅锌矿床;地质特征;矿床成因;矿源层;沉积改造型

1 矿区地质特征

荒沟山铅锌矿床产在华北地台北缘辽-吉裂谷北部边缘,太古宙地体与中元古界老岭群接触部位附近。

1.1 地层

矿区内老岭群珍珠门组白云质大理岩较为发育,其中产核形石及叠层石。可分为 3 个岩性段,总厚度达 2275 m。现已确定该组有上、下两个含矿层位。下部含矿层为珍珠门组下段的上部硅质条带白云石大理岩,赋存荒沟山铅锌矿;上部含矿层为珍珠门组中段上部的薄层含碳质条带白云石大理岩层,赋存天湖沟铅锌矿,严格受层位和岩性控制。在矿体附近往往发育有同生黄铁矿层,有的矿体尚可见纹层状黄铁矿和细粒闪锌矿、块状黄铁矿相伴出现,表明含矿层亦是矿源层。

研究表明^[1],珍珠门期早期有陆源物补给,在不同古地理单元内不同沉积相具有不同的成矿特点。在荒沟山一带珍珠门中早期沉积过程中伴有海底火山喷气作用,后又有火山喷发,出现拉斑玄武岩。在喷气过程中为地层提供一部分铅、锌等元素。所以在珍珠门组下部富含铅、锌,呈细粒层状或纹层状分布于地层中,构成初始铅锌矿源层。荒沟山一带铅锌矿床即赋存于该层位中。中上部层位有金矿赋存,如南大坡金矿、错草沟金矿、南岔金矿等。

1.2 岩浆岩

矿区附近岩浆活动频繁,在北部和西部出露有燕山早期似斑状黑云母花岗岩呈岩基状侵入,分别形成草山、老秃顶子、梨树沟岩体,这些岩体具有金、银、铅、锌、锑等成矿专属性。岩体内外接触带金、银、铅、锌、锑等热液脉状矿体较为发育,其中金矿很有成矿远景。

区内脉岩有辉长岩脉、辉绿岩脉、石英闪长玢岩脉、煌斑岩脉等。

1.3 构造

1.3.1 褶皱构造

早期褶皱构造轴向 SE 或 SSE,晚期褶皱轴向为 NNE。有两个复式背斜和一个复式向斜构造控制了矿区的构造格架。自西而东依次为银子沟复式背斜、石灰沟复式向斜和荒沟山复式背斜。变形期伴有韧性剪切作用,如花山组与珍珠门组之间韧性剪切带。

1.3.2 断裂构造

本区有 3 条较大规模的韧性剪切带:①银子沟-刘家趟子韧性剪切带,位于珍珠门组与太古宙花岗-绿岩地体接触部位,控制长 300~400 m,构造片理近 S-N 向,倾角陡立;②杉松岗-错草沟韧性剪切带,位于花山组与珍珠门组接触部位,控制宽 300 m,长 6 km,近南北向,倾角直立,主体倾向南东,后期被脆性断裂叠加,蚀变较强,其中赋有金矿床;③板庙子-双岔沟韧性剪切带,位于珍珠门组构成的透镜状地质体的核部,控制宽 50~100 m,延长 5 km,片理近 S-N 向至 NE 向,倾角较陡,一般 50~70°。

本区有两组脆性断裂:①近 S-N 向或 NE 向断裂,在本区北部呈近南北展布,南部变为北东向展布,由两组走向相同,倾向相反的断裂组成。其中一组倾向 SE,倾角较陡,另一组倾向 NW,倾角较缓。陡倾斜断裂为近平行层理产出的似层间断裂,控制脉状铅锌矿体、黄铁矿体,而且对珍珠门组与花山组接触部位赋存的金矿也起着明显的控制作用^[2]。缓倾斜断裂倾角 10~20°,走向近平行层理,倾向与地层相反,与前一组断裂呈高角度相交,倾向 NW,常被煌斑岩脉充填。② NW 向断裂,是区内最晚的断裂,倾向 NE,倾角 50~80°。

综上所述,珍珠门组大理岩构成的轴向近 S-N 展布的紧闭线性同斜倒转褶皱,控制了区内铅锌矿体的空间分布,矿体分布在该构造的两翼,并直接受翼部发育的断裂构造控制,断裂带与地层呈低角度相交,交角为 5~20°。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

荒沟山一带铅锌矿主要有 3 处:荒沟山铅锌矿床、天湖沟铅锌矿床、银子沟铅锌矿床。其矿床类型、特征基本相同,其中以荒沟山铅锌矿床为主,面积 2.16 km²。矿体赋存于珍珠门组白云石大理岩的层间破碎带中,矿体的形态和产状明显受断裂构造控制,具明显裂隙充填特征。已知有 Pb、Zn、黄铁矿体 62 条,其中铅锌矿体 10 条、铅矿体 3 条、黄铁矿体 49 条,主要铅锌矿体为 12、13、18、7 号等。矿体规模一般不大,长一般 100~300 m,最长者 400 m,厚一般 0.1~5 m,个别达 8.6 m,多数在 1 m 以下。沿倾向延深略大于走向长度。矿体呈似层状、脉状、透镜状、囊状、不规则状等,与围岩界线清楚。矿体走向 10~30°,多向 SE 倾斜,倾角一般 70°以上,与围岩产状基本一致,有时斜切围岩。矿床具金属分带特征。水平分带:东部为硫带,中部为锌带,西部为铅带,垂直分带:上部为硫,中部为锌,下部为铅。

荒沟山铅锌矿床的形成经历了两个重要阶段,即沉积和改造阶段。早期同生沉积成矿阶段形成矿源层及相伴随的海底火山喷发;改造阶段使含矿热液沿断裂上升到有利成矿的岩性和断裂有利部位富集成矿。

矿物生成顺序为石英→热液白云石→黄铁矿→磁黄铁矿、闪锌矿→方铅矿、黄铜矿。

天湖沟-银子沟矿区(前者面积 0.48 km²,后者面积 0.27 km²),共有 Pb、Zn、黄铁矿体 14 条,其中铅锌矿体 4 条(1、2、10、14 号矿脉),铅矿体 2 条(7、15 号矿体),含锌黄铁矿体 5 条。

2.2 矿石特征

矿石矿物主要有黄铁矿、闪锌矿和方铅矿,此外还有微量的磁黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、辉银矿、毒砂、辉锑银矿、自然金、金银矿、自然银等。脉石矿物有石英、白云石和方解石。矿石结构有自形、半自形、他形粒状、交代、固溶体分解结构。矿石构造呈块状、条带状、角砾状构造以及浸染和细粒状构造等。

矿石类型可分为黄铁矿矿石、方铅矿矿石、闪锌矿-黄铁矿矿石、方铅矿-闪锌矿-黄铁矿矿石等。

矿石化学成分以 Pb、Zn 为主,伴有少量 Cu、Ni、Co,微量 Ag、Au。其中有益组分 Pb 平均 1.22%,最高 40.14%以上;Zn 平均 9.08%,最高 42.26%;S 平均 12.09%,最高 47%。伴生元素 Ag 平均 27×10⁻⁶,最高 253.7×10⁻⁶,Au 可达 3.28×10⁻⁶,Cd 0.0538×10⁻⁶,平均 0.069%,Sb 在方铅矿中含 300×10⁻⁶,Hg 在闪锌矿中含 416×10⁻⁶。

2.3 围岩蚀变特征

矿区内围岩蚀变发育程度较差,主要有碳酸盐化、硅化、黄铁矿化、透闪石化、蛇纹石化等,其中黄铁矿化和硅化与矿化关系密切。在矿体附近,往往见有岩石退色现象。

3 矿床成因探讨

3.1 成矿元素 Zn/Pb 比值特征

铅锌是本矿床的主要成矿元素,其品位变化较大,最高品位 Pb 40.14%,Zn 42.26%;最低品位 Pb 0.37%,Zn 0.6%;平均品位 Pb 1.22%,Zn 9.08%。Zn/Pb 比值对矿床成因的研究,能够

提供较重要的信息。通过对我国主要铅锌矿床统计分析可以看出,不同成因热液型矿床的 Zn/Pb 比值不同(表 1)。岩浆期后热液型矿床,其 Zn/Pb 比值往往小于 2^[2];而沉积改造型层控矿床,其 Zn/Pb 比值往往大于 2。本矿床 Zn/Pb 比值为 7.8,与沉积改造型层控矿床 Zn/Pb 比值相一致。

3.2 方铅矿、闪锌矿中微量元素特征

方铅矿和闪锌矿是本矿床的主要金属矿物。由于微量元素的地球化学行为对成矿的物理化学条件比较灵敏,因此单矿物的某些微量元素含量及其比值能够反映矿床的成因特征,可作为判别矿床成因的地球化学特征。

3.2.1 方铅矿

本矿床方铅矿中 Ag 含量 170×10⁻⁶~3210×10⁻⁶,平均值为 1505×10⁻⁶;Sb 1600×10⁻⁶~3100×10⁻⁶,平均值为 2500×10⁻⁶。表 2 列出了国内外主要铅锌矿床方铅矿的 Ag、Sb 含量,通过统计分析,表明岩浆期后热液型矿床方铅矿的 Ag、Sb 含量明

表 1 不同成因类型铅锌矿床 Zn/Pb 比值

Table 1 Zn/Pb ratios of different types of Pb-Zn deposits

类 型	矿 床	Zn/Pb	资料来源
岩 浆 期 后 热 液 型 矿 床	湖南蛇形坪	1.49	杨昌明
	湖南水口山	1.9	
	湖南桃林	2~3	
	江西银山	1.4	
	浙江五部	1.2~1.4	
	广东大宝山	2.5	赖应钱
	广东昌化	1.04	
	广东银尿	0.68	
	湖南黄沙坪	1.6	
	湖南东坡山	1.55	
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	江苏栖霞山	1.84	真允庆
	湖南柿竹园-野鸡尾	0.7	陆玉梅
	广西沸子冲	1.33	傅宝金
	辽南东胜	1.13	
	云南金顶	4.7	杨昌明
	湖南禾青	3.0	
	广东凡口	2.12	
	广西北山	4.6	
	甘肃厂坝	4.5	
	广东杨柳塘	3.1	赖应钱
改 造 型 层 控 矿 床	广西泗顶	7.3	唐耀祖
	陕西铅铜山	4.3	李 徽
	湖南后江桥	3.9	杨昌明
	云南茂租	2.93	廖 文
	吉林荒沟山	7.8	吕衍明
	贵州杉树林	4.18	唐森宁
	甘肃毕家山	2.07	李 徽
	河北高板河	3.8	冯钟燕
	辽宁关门山	3.65	

表 2 不同成因类型铅锌矿床中方铅矿 Ag、Sb 含量对比表
Table 2 Contents of Ag and Sb in galena from different types of Pb-Zn deposits

类 型	矿 床	Ag	Sb	资料来源
岩 浆 期 后 热 液 型 矿 床	湖南蛇形坪	1800	2610	杨昌明
	湖南水口山	1143	1365	
	湖南黄沙坪	2934	4540	
	江西银山	5957	4994	
	吉林孟恩	4887	2713	
	美国 Wood River	3643	3771	张声炎
	湖南炮金山	1680	1420	
	湖南横山岭	2097	1879	
	湖南宝山西部	1196	1700	
	湖南康家湾	1685	1043	
平均		2702	2604	
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	湖南鱼塘	2. 25	18	杨昌明
	广西泗顶	28. 7	1349	
	美国上密西西比河谷	19. 7	632	
	密苏里东南	29	567	
	广东凡口	706. 5	835	
	陕西铅铜山	819. 5	721	李 徽
	广东杨柳巷	563	1170	
	广东牛岩	260	440	
	湖南后江桥	87	10. 5	
	吉林荒沟山	1505	1600	
平均		402	734	

含量单位 :10⁻⁶.

显高于沉积改造型层控矿床^[2],而低于岩浆期后热液型矿床,但更接近前者.

3. 2. 2 闪锌矿

本矿床闪锌矿 Ga 含量 $2. 6 \times 10^{-6} \sim 80 \times 10^{-6}$,平均值为 $15. 7 \times 10^{-6}$;Ge 含量 $0. 3 \times 10^{-6} \sim 135. 6 \times 10^{-6}$,平均值为 $12. 0 \times 10^{-6}$; In 含量 $0. 1 \times 10^{-6} \sim 4. 1 \times 10^{-6}$,平均值为 $0. 8 \times 10^{-6}$;Ga/In 比值为 19. 6 ,Ge/In 比值为 15. 0. 统计分析结果表明(表 3) ,岩浆期后热液型铅锌矿床闪锌矿具有贫 Ga、Ge ,富 In 以及 Ga/In 和 Ge/In 均小于 1 的特点;而沉积改造型层控矿床闪锌矿具有富 Ga、Ge ,贫 In 以及 Ga/In 和 Ge/In 均大于 1 的特点^[2,3]. 本矿床闪锌矿具有富 Ga、Ge ,贫 In ,以及 Ga/In 和 Ge/In 均大于 1 的特点 ,与沉积改造型层控矿床闪锌矿的特征相一致.

3. 3 稳定同位素地球化学特征

3. 3. 1 硫同位素组成特征

本矿床硫同位素组成比较简单 , $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ 值的变化范围在 +10. 20 ~ +28. 40 之间 ,平均为 +22. 06. $\delta^{34}\text{S}$ 全为正值 ,而且偏离 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰}) = 0$ 较远 ,显著地富集重硫同位素. 3 种硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围不一致 ,其中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ 值在 +20. 31 ~ +27. 90 之间 ,闪锌矿 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ 值在 +13. 35 ~ +28. 40 之间 ,方

铅矿 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ 值在 +10. 20 ~ +24. 50 之间 , $\delta^{34}\text{S}$ 平均值黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿(表 4).

本矿床硫同位素组成与海水中硫酸盐的硫同位素(标准定为 +20. 00‰) 及蒸发岩的硫同位素值相近,所以虽然尚没有发现足够的硫酸盐矿物,但它却是典型的硫酸盐型硫所形成的矿石,硫来自容矿围岩.

表 3 不同成因类型铅锌矿床闪锌矿 In、Ga、Ge 含量特征表
Table 3 Contents of In ,Ga and Ge in sphalerite from different types of Pb-Zn deposits

类 型	矿 床	In	Ga	Ge	Ga/In	Ge/In	资料 来源
岩 浆 期 后 热 液 型 矿 床	湖南蛇形坪	35	4	1	0. 11	0. 03	杨昌明
	湖南东坡山	104	9. 3		0. 09		
	湖南桃林	28	21	4	0. 75	0. 14	
	黑龙江小西林	54. 8	1. 7	1. 8	0. 03	0. 03	
	江西银山	128	52	7	0. 41	0. 05	
	湖南水口山	35	31	2. 5	0. 89	0. 07	李 徽
	湖南七宝山	268	53	79	0. 20	0. 29	
	湖南黄沙坪	90. 5	2. 34	0. 6	0. 03	0. 007	
	广东大宝山	518	31. 7	2. 1	0. 06	0. 004	
	南岭	101	44		0. 44	0. 04	
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	湖南宝山	102	30. 3	3. 7	0. 30	0. 01	傅金宝等
	道贫沟	348	7	1. 25	0. 02	0. 001	
	广西大厂	777	39. 3	0. 44	0. 05	0. 001	
	湖南香花岭	420	3. 45	0. 7	0. 008	0. 0	
	哈萨克斯坦	160	89	0	0. 56	0. 04	
	前苏联库特艾格哈亚	898	8	7	0. 01		杨昌明
	前苏联里夫京	625	7		0. 01		
	平均	276. 0	25. 6	8. 55	0. 09	0. 03	
	湖南后江桥	5	61	93	12. 2	18. 6	
	广东凡口	4	13	132	38. 3	33. 0	
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	云南金顶	0	7	18	> 1	> 1	杨昌明
	河北高板河	2	48	18. 4	24. 0	9. 2	
	陕西铅洞山	3	26. 4	35. 3	8. 8	11. 8	
	吉林荒沟山	0. 8	15. 7	12	19. 6	15. 0	
	甘肃毕家山	5	36. 6	10. 1	7. 3	2. 0	
	甘肃邓家山	2. 6	50. 8	55. 5	19. 5	21. 4	李 徽
	甘肃厂坝	3. 2	3. 4	1. 4	1. 06	0. 44	
	广东杨柳塘	19. 4	534		27. 5		
	密西西比上游	0	95	102	> 1	> 1	
	喀尔巴阡	17	50		2. 98		
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	不列颠诸岛	2	96		48		杨昌明
	高加索艾雅特佐斯克	0. 2	40		200		
	爱尔兰升洛普希尔	20	170		8. 5		
	中亚细亚塔鲍尔	2. 0	140		70		
	辽宁关门山	1. 8	67. 8	2. 2	37. 7	1. 2	
平均		5. 18	91. 5	43. 6	17. 7	8. 4	

含量单位 :10⁻⁶.

表 4 荒沟山铅锌矿床硫同位素组成表

Table 4 Sulfur isotope composition of Huanggoushan Pb-Zn deposits

测定矿物	样品数	变化范围 / %	均值 / %
黄铁矿	12	+ 20. 31 ~ + 27. 90	+ 25. 43
闪锌矿	44	+ 13. 35 ~ + 28. 40	+ 23. 48
方铅矿	41	+ 10. 20 ~ + 24. 50	+ 19. 56
总平均	97	+ 10. 20 ~ + 28. 40	+ 22. 06

测试单位 :长春地质学院地质系 .

不同成因矿床的硫同位素组成不一致^[4]. 从表 5 可以看出 , 岩浆期后热液型矿床硫同位素组成变化小 , 相对稳定 , $\delta^{34}\text{S}$ 值在 0 附近 , 接近陨石值 , 硫主要来自深部地壳或上地幔 , 与岩浆作用有关 . 沉积改造型层控矿床硫同位素组成分布范围宽 , 一种 $\delta^{34}\text{S}$ 值全为正值 , 偏离 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰}) = 0$ 较远 , 即富集 $\delta^{34}\text{S}$; 另一种 $\delta^{34}\text{S}$ 值由较大的负值至较大的正值 . 硫主要来自当时海水硫酸盐 , 与沉积有关 . 本矿床硫同位素组成具有沉积改造型层控矿床的特征 .

3. 3. 2 铅同位素组成特征

本矿床铅同位素组成有两种类型 . 一种类型铅为正常铅 , 微偏钼铅 , 具古代铅特征 (表 6) . $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14. 450 \sim 16. 450$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14. 430 \sim 16. 140$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 34. 242 \sim 37. 330$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 0. 994 \sim 1. 021$. 相对来说 , 铅同位素组成具有均一化特征 , 说明铅来源于同一矿源层 . 该类型铅同位素模式年龄为 18 ~ 20 亿年 , 这一年龄值远大于容矿围岩 , 表明铅同位素组

表 5 不同成因类型铅锌矿床硫同位素组成对比表

Table 5 Sulfur isotope compositions of different Pb-Zn deposits

类 型	矿 床	$\delta^{34}\text{S}$ 范围 / %	资料来源
岩 浆 期 后 热 液 型 矿 床	湖南黄沙坪	+ 5. ~ 6 ~ + 12	李洪昌等
	湖南东坡山	+ 2. 66 ~ + 9. 77	
	湖南蛇形坪	- 1. 6 ~ + 6. 7	
	湖南水口山	+ 1 ~ + 3	
	湖南七宝山	+ 1. 8 ~ + 4. 4	
	浙江五部	+ 2 ~ + 5	真允庆等 唐森宁 冯群耀
	南京栖霞山	- 5. 2 ~ + 4. 5	
	贵州普安	- 3. 85 ~ + 5. 2	
	广西沸子冲	+ 0. 2 ~ + 4. 0	
	广西泗顶	- 17. 64 ~ + 5. 46	
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	贵州杉树林	+ 10. 54 ~ + 16. 99	唐森宁
	广东凡口	+ 13. 04 ~ + 25. 8	吴健民
	甘肃厂坝 - 李家沟	+ 7. 1 ~ + 27. 81	杨松年等
	广西朋村	- 21. 0 ~ + 24. 2	冯群耀
	广西北山	- 22. 5 ~ + 20. 9	陈好寿
	吉林荒沟山	+ 10. 20 ~ 28. 40	吕衍明
	湖南鱼塘	+ 20. 32 ~ + 26. 36	杨昌明
	辽宁关门山	+ 10 ~ + 18. 9	

成所反映的年龄是铅从源区分离出来的年代 , 而不是矿石矿物结晶的年龄或岩石形成的年代 . 另一种类型铅为放射成因铅 , 即铀铅 , 同位素组成与前者相比有显著差异 , $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17. 094 \sim 18. 640$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 140 \sim 16. 000$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 34. 050 \sim 37. 380$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1. 106 \sim 1. 170$. 从地质产状上看与前者也有明显区别 , 不具有工业意义 , 该类型铅同位素模式年龄变化大 .

表 6 古代铅与现代铅的同位素标志

Table 6 Isotope compositions of ancient and modern lead

同位素组成	古代铅 (前寒武纪)	现代铅 (寒武纪以后)	吉林荒沟山铅锌矿床
$\delta^{204}\text{Pb}$	> 1. 42‰	< 1. 40‰	1. 410 ~ 1. 540 (1. 500)
$\delta^{206}\text{Pb}$	< 24. 00‰	> 24. 75‰	22. 300 ~ 25. 210 (23. 004)
$\delta^{207}\text{Pb}$	> 22. 00‰	< 21. 50‰	22. 180 ~ 22. 950 (22. 658)
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	< 17. 00	> 17. 75	14. 73 ~ 17. 51 (15. 333)
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	< 37. 00	> 37. 50	34. 05 ~ 37. 33 (35. 156)
$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	< 1. 19	> 1. 14	0. 994 ~ 1. 133 (1. 016)
$^{208}\text{Pb}/\text{Pb}^{206}$	> 2. 17	< 2. 11	1. 986 ~ 2. 417 (2. 297)
$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	< 2. 37	> 2. 43	2. 249 ~ 2. 425 (2. 331)

注 :括弧内数字为平均值 .

不同成因类型铅锌矿床的铅同位素组成具有差别 , 岩浆期后热液型矿床的铅同位素组成较均一 , 变化范围小^[5] ; 而沉积改造型层控矿床的铅同位素组成变化范围较大 (表 7) . 本矿床的铅同位素组成与广东少凡口等国内外沉积改造型层控矿床相一致 , 具有较大的变化范围 .

3. 4 矿物包裹体成分特征

本矿床矿物包裹体成分有 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2 、 CO 、 N_2 和 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- . 由表 8 可以看出 , 含矿溶液的液相成分具有 Na^+ 大于 K^+ ($\text{Na}^+/\text{K}^+ = 2. 19 \sim 6. 52$)、 Ca^{2+} 大于 Mg^{2+} ($\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 2. 56 \sim 23. 75$)、 Cl^- 远大于 F^- ($\text{Cl}^-/\text{F}^- = 1. 89 \sim 140. 1$) 的特点 , 矿液属 $\text{Na} - \text{Ca} - \text{Cl}$ 型 . 这些特点反映其与卤水有明显的相似^[6] , 而与岩浆活动有关的热液矿床的包裹体成分有显著差异 .

本矿床矿物包裹体含盐度 (NaCl , 质量分数) 为 7. 6% ~ 15. 4% (表 9) , 比正常海水盐度高出 3 ~ 5 倍 , 亦说明了本矿床成矿溶液具有卤水性质 .

3. 5 矿源层特征

根据铜山铜矿报告资料 , 老岭群珍珠门组地层是金、铜、铅、锌等赋矿层位 , 亦是矿源层^[7] , 含 $\text{Au } 1. 49 \times 10^{-9}$ 、 $\text{Cu } 21. 31 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Pb } 22. 85 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Zn } 95. 72 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Mo } 0. 37 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Ag } 134. 79 \times 10^{-9}$, 铜山铜矿即赋存于珍珠门组中段上部的角岩夹薄层大理岩与厚层白云质大理岩接触部位 . 根据荒沟山铅锌矿报告资料 , 在珍珠门组下段富含 Pb 、 Zn 、 Au , 呈细粒层状或纹层状分布于地层中 , 形成沉积期矿源层^[7] , 构成初始铅锌矿源层 , 荒沟山铅锌矿床即赋存于该层位中薄层含泥砂质白云石大理岩与块状大理岩过渡带靠近块状大理岩一侧的条带状白云质大理

表 7 不同成因类型铅锌矿床铅同位素组成对比

Table 7 Pb isotopic compositions of different types of Pb-Zn deposits

类 型	矿 床	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	资料来源
岩 浆 期 后 热 液 型 矿 床	湖南蛇形坪	18.60 ~ 18.71	15.71 ~ 15.89	38.87 ~ 39.49	杨昌明
	湖南东坡山	18.62 ~ 18.70	15.61 ~ 15.87	38.70 ~ 42.03	
	湖南水口山	18.10 ~ 18.39	15.32 ~ 15.58	38.70 ~ 39.21	
	广东大宝山	18.36 ~ 18.51	15.36 ~ 15.46	38.57 ~ 38.82	
	湖南黄沙坪	18.44 ~ 18.57	15.56 ~ 15.74	38.63 ~ 38.98	李裕祖
	湖南七宝山	18.10 ~ 18.478	15.537 ~ 15.809	38.468 ~ 38.948	陆玉梅
	贵州普安	18.33 ~ 18.36	15.67 ~ 15.72	39.02 ~ 39.21	廖 广
	湖南横山岭	18.496 ~ 18.566	15.624 ~ 15.759	37.350 ~ 38.776	谢文安
	湖南炮金山	18.634 ~ 18.691	15.695 ~ 15.745	38.779 ~ 38.914	
	广东凡口	18.12 ~ 18.81	15.51 ~ 16.02	38.29 ~ 40.23	杨昌明
沉 积 改 造 型 层 控 矿 床	密西西比河流域	19.91 ~ 21.46	15.80 ~ 15.98	39.92 ~ 40.64	
	密苏里东南	19.69 ~ 21.46	15.65 ~ 16.91	39.10 ~ 41.02	
	澳大利亚布罗肯希尔	16.117 ~ 19.48	15.538 ~ 15.91	36.059 ~ 39.42	
	广西泗顶	17.96 ~ 19.32	15.29 ~ 16.51	38.10 ~ 41.04	唐耀祖
	湖南后江桥	17.76 ~ 18.63	14.80 ~ 15.16	37.36 ~ 39.36	吴健民
	广西北山	17.84 ~ 18.39	15.56 ~ 15.99	37.99 ~ 40.42	冯群耀
	河北高板河	16.16 ~ 17.301	15.15 ~ 15.96	36.059 ~ 37.49	冯钟燕
	云南矿山厂	17.98 ~ 18.45	15.01 ~ 16.61	36.93 ~ 39.42	廖 文
	云南金矿厂	20.48 ~ 21.35	15.42 ~ 16.14	40.03 ~ 41.79	
	吉林荒沟山	14.73 ~ 18.64	14.68 ~ 16.41	34.05 ~ 37.38	

岩中。珍珠门组中段上部赋存天湖沟铅锌矿床、银子沟铅锌矿床。据石家铺子金矿报告及南岔金矿报告^[7-8]资料,珍珠门组大理岩有较高金丰度 ($22.1 \times 10^{-9} \sim 41.6 \times 10^{-9}$),石家铺子、南岔、南大坡、错草沟、二亩地、刀条背、泉眼沟金矿等就赋存于珍珠门组上段中。南岔金矿床、石家铺子金矿床也产于一定层位^[8],即矿床产出受一定层位的岩性控制,具层控性。通过对矿区内实测地质剖面取样分析(表 10),矿区内地层中成矿元素 Pb、

表 8 荒沟山铅锌矿床矿物包裹体成分特征表

Table 8 Inclusion characteristics of Huanggoushan Pb-Zn deposit

样品号	矿 物	Na ⁺ /K ⁺	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Cl ⁻ /F ⁻
B-1	黑色闪锌矿	6.52	2.56	140.1
B-2	褐色闪锌矿	4.84	3.75	34.8
B-3	黄褐色闪锌矿	3.15	3.26	28.6
B-4	黄褐色闪锌矿	4.00	2.79	6.0
B-5	褐色闪锌矿	3.52	4.39	29.8
B-6	褐色闪锌矿	4.65	5.24	43.6
B-8	石英	2.19	23.75	1.89
B-9	石英	2.44	5.50	23.0
B-10	黄褐色闪锌矿	4.97	4.41	20.4
B-11	黑色闪锌矿	3.51	3.07	58.1
平 均		4.00	4.26	23.4

测试单位 :长春地质学院地质系,1990.

表 9 荒沟山铅锌矿床矿物包裹体盐度测定

Table 9 Salinity of inclusions from Huanggoushan Pb-Zn deposit

矿物	样品号	盐度范围/%	平均/%
白云石	Zn3-4	10.5 ~ 18.6	15.4(5)
白云石	Zn5	12.9	12.9(2)
白云石	Zn28-2	3.7 ~ 11.4	7.6(2)
白云石	Zn29-1	14.3 ~ 16	15.1(3)
石 英		13.9 ~ 15.1	15.2(3)

测试单位 :长春地质学院地质系,1990. 冷冻法测定.

Zn 丰度很高,下段含量最高.

珍珠门期下段,沉积了大量碳质和泥质,海水中吸附贱金属沉淀的主要为有机质、黏土等.这种有利的沉积环境和大量碳质及黏土质沉积条件,使该段 Pb、Zn 中有较高的丰度.

4 矿床形成机制

4.1 沉积作用

中元古代,本区地壳下降,形成一套巨厚的碳质和黏土质碳酸盐相沉积,大量的碳质和黏土质吸附海水中的 Pb、Zn、Au 等成矿物质,使之与碳质、黏土质沉积物同时沉积.此期有利于金、多金属硫化物的沉积.伴随裂谷带活动,幔源拉斑玄武质火山溶浆的喷发,Pb、Zn、Au 成矿物质进入,与正常沉积物质一起形成了成矿元素丰度较高的铅锌初始矿源层^[9].沉积作用是本矿

表 10 矿区内地层中成矿元素丰度
Table 10 Element abundance of strata in the ore field

组段	样品数	Pb	Zn	Ag	Cd	As	Sb	Cu	Hg	Au
老岭群花山组 (Pt lh)	11	8.55	10.1	0.07	0.033	0.63	0.08	1.12	0.012	0.0024
老岭群花山组 (Pt lh)	2	9.2	10.5	0.08	0.028	0.446	0.065	1.01	0.010	0.0012
老岭群花山组 (Pt lh)	16	8.99	9.5	0.08	0.0195	32.96	0.07	0.175	0.08	0.0079
老岭群珍珠门组第 3 段 (Pt lz ³)	16	16.15	34.07	0.06	0.099	38.80	9.74	21.31	0.32	22.1
老岭群珍珠门组第 3 段 (Pt lz ³)	24	15.97	56.94	0.06	0.100	25.38	9.00	19.3	0.010	41.6
老岭群珍珠门组第 2 段 (Pt lz ²)	4	18.6	82.60	0.111	0.133	16.40	8.99	41.5	0.18	22.1
老岭群珍珠门组第 1 段 (Pt lz ¹)	9	30.96	95.72	0.064	0.064	84.05	17.62	2.6	0.99	7.4
老岭群珍珠门组第 1 段 (Pt lz ¹)	75	22.85	82.60	0.058	0.116	14.02	3.79	2.13	0.329	19.5
老岭群达台山组 (Pt ld)	14	6.34	8.06	0.07	0.118	0.329	2.64	0.0	0.024	0.0062
老岭群达台山组 (Pt ld)	71	6.1	7.46	0.089	0.075	0.461	4.07	0.03	0.021	0.0024

测试单位 :长春地质学院地质系,1990. 含量单位 :Au 为 10⁻⁹ ,其他为 10⁻⁶.

床成矿物质来源的基础 .

4.2 改造作用

老岭群沉积之后 ,色洛河群沉积之前发生的老岭运动 ,地层发生变质变形 ,使岩石中的原生硫化物铅充分均一化 ,同时形成荒沟山“ S ”形构造 ,使矿源层中分散的 Pb、Zn、Au 成矿元素得到进一步富集 ,形成变质后矿源层 . 中元古代时期 ,本区色洛河群沉积之后 ,青白口系沉积之前 ,有一次规模较大的构造运动 ,即中条运动 ,使本区发生动力变质作用 ,同时使碳酸盐中的硫化物、金等成矿物质得到更进一步富集 . 燕山期的构造岩浆活动 ,伴有花岗岩浆侵入 ,为成矿提供充足热源 ,加热了地层中封存的层间水、粒间水 ,形成热卤水 . 热卤水在形成和循环过程中 ,不断地萃取矿源层中的 Pb、Zn、Au 等成矿物质 ,逐步形成含矿热液 ,含矿热液沿断裂构造上升到有利于成矿的白云石大理岩中 . 另一方面 ,由于热液影响 ,硫酸盐溶解成 SO₄²⁻ ,并与白云石大理岩中有机质进行反应 ,还原成 S²⁻ ,S²⁻ 与矿液中 Pb、Zn 元素相结合而沉淀 ,从而使成矿物质富集成矿 . 改造作用是形成荒沟山中型铅锌矿床的主要因素 .

综上所述 ,初步认为荒沟山铅锌矿床的形成经历了两个重要阶段 ,即沉积和改造阶段 ,前一阶段形成矿源层 ,后一阶段使含矿热液沿断裂上升到有利成矿的岩性 (白云石大理岩)和断裂

有利部位富集成矿 . 因此 ,荒沟山铅锌矿床为一沉积改造型层控矿床 ,属地下热卤水成矿 .

参考文献 :

[1]吉林省地质矿产局 . 吉林省区域地质志 [M]. 北京 :地质出版社 , 1989. 47—49.
[2]杨昌明 . 蛇形坪铅锌矿床成因初探 [J]. 地质与勘探 ,1986 21.
[3]李徽 . 闪锌矿中杂质元素的特征及地质意义 [J]. 地质与勘探 , 1986 ,10.
[4]魏菊英 ,王关玉 . 同位素地球化学 [M]. 北京 :地质出版社 ,1991. 112—139.
[5]张理刚 . 稳定同位素在地质科学中的应用 [M]. 西安 :陕西科学技术出版社 ,1985. 19—21.
[6]李荫清 ,马秀娟 ,魏家秀 . 流体包裹体在矿床学和岩石学中的应用 [M]. 北京 :北京科学技术出版社 ,1988.
[7]冯守忠 . 吉林南盆金矿床地质特征及矿床成因探讨 [J]. 黄金地质 , 1997 ,3(3) :39—41.
[8]冯守忠 . 吉林石家铺子金矿床地质特征及成因探讨 [J]. 黄金学报 ,1999 :167—170.
[9]许静 . 金的矿源层讨论 [J]. 地质论评 ,1992 ,38(4).

APPLICATION OF GEOLOGICAL 3-D MODELING AND DIGITAL SIMULATION IN OIL DEPOSIT EXPLORATION IN YOUFANGZHUANG OIL FIELD

ZHU Guang-she

(*Institute of Geology, Changqing Oil Field Corp., Yinchuan 750006, China*)

Abstract: Through geologic 3-D modeling for the C-1 reservoir in D-31 well area of Youfangzhuang oil field in Ordos Basin, the distribution of residual oil in the area is studied by numerical fitting on geologic reserves, oil production, water cut and pressure. The residual oil is essentially distributed on structural high, un-flooded main channel of deposit, outside of drainable area of well and production well without perforation. To various distribution patterns of residual oil, three methods are developed for production adjustment, including new adjusting well and sidetracking of old wells, perfection of injection production pattern, and productin engineering potential development. The estimation for production index indicates that the numerical modeling and production adjustment are effective.

Key words: Ordos; Youfangzhuang Oil Field; D-31 well area; C-1 reservoir; digital simulation; residual oil

作者简介 朱广社(1973—),男,工程师,1997年毕业于西南石油学院石油地质勘查专业,从事石油勘探开发工作,通讯地址 宁夏银川市长庆石油基地采油三厂地质研究所,邮政编码 750006.

(上接第 42 页)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF HUANGGOUSHAN LEAD-ZINC DEPOSIT IN JILIN PROVINCE

FENG Shou-zhong, SUN Chao, HUANG Lin-ri

(*Jilin Institute of Nonferrous Metallic Geology, Changchun 130012, China*)

Abstract: The Huanggoushan Pb-Zn deposit, occurring in the dolomite marble of Mesoproterozoic Zhenzhumen formation, is obviously controlled by strata. Study on the geology, the Zn/Pb ratio of ore-forming elements, the microelements in galena and sphalerite, the S and Pb isotopic compositions, the inclusions of minerals and the source bed shows that it is a stratabound deposit of sedimentation-reformation type. Sedimentation is the basis for the source of ore-forming material; while reformation is the essential factor for the forming of the deposit. The Zhenzhumen formation is the source bed for ore-forming material.

Key words: Huanggoushan; Pb-Zn deposit; geological characteristics; genesis; source bed; sedimentation-reformation type

作者简介:冯守忠(1934—),男,高级工程师,1954年毕业于长春地质学院地质系,现从事矿床地质研究工作,通讯地址 长春市南湖大路 32 号,邮政编码 130012.