

浙江鸟坳含银多金属矿床的层控特征

罗镇宽 胡桂明 关 康

(冶金部天津地质研究院)

在浙东南至闽北的前泥盆系陈蔡(建瓯)群变质岩系中,产有一组多金属或铅锌矿床,以往大都被列为热液型或夕卡岩型矿床。近年来,随着工作的深入和资料的积累,越来越多的人开始摆脱传统成矿学说的束缚,提出了层控矿床的观点。本文仅以鸟坳含银多金属矿床为例,谈谈我们的认识。文中以1979年11月中国地质学会沉积学委员会和中国矿物岩石地球化

学学会讨论的层控矿床概念作为基础,即将受一定地层层位控制,与侵入岩无明显关系的那些矿床称为层控矿床,但不包括典型的沉积矿床。

鸟坳多金属矿床产在前泥盆系建瓯群中。建瓯群在区内分为上、下两个亚群,五个岩性段(表1)。具体含矿层位为下亚群第一段黑云斜长片麻岩。

建瓯群分层及岩性特征

表1

地 层			岩 性	矿 化 特 征
建 瓯 群	上 亚 群	第三段	云英片岩、绿泥片岩、变粒岩、云母片岩	岩石中含Cu、Pb、Zn高
		第二段	变粒岩夹云英片岩及石墨片岩	
		第一段	云英岩夹变粒岩	
	下 亚 群	第二段	自下而上,绿泥阳起片岩、角闪片岩、云英片岩	含Pb、Zn及P矿层
		第一段	黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩夹火山碎屑岩、白云钾长片麻岩夹云英片岩、变粒岩、具混合岩化	岩石中含Cu、Pb、Zn高

陈蔡(建瓯)群的时代因变质程度高,缺失化石,长期来未能确定。曾经提出过前震旦系、前泥盆系和前中生界等多种认识。近年来,随着资料积累,认识趋向一致。根据是:1上覆有化石依据的盖层为南靖群(D₁-C₁)^①;2K-Ar法等时线年龄为4.91~3.81亿年^②,暂定其时代为前泥盆纪(下古生代)。

1980年福建地质局第三地质队在福建境内建瓯迪口、南平大风一带的建瓯群中发现细碧角斑岩系。我们对陈蔡(建瓯)群的绿片岩、角闪岩、斜长角闪岩等类岩石化学全分析结果的计算投影,大部分落在岛弧火山岩系区。据此推测陈蔡(建瓯)群可能是古岛弧环境下的一套火山-沉积建造的变质产物。陈蔡—龙泉—建瓯一带应为江南古陆东南侧加里东岛弧型优地槽褶皱带^③。

矿床地质特征

1. 矿体特征 鸟坳多金属矿床矿体呈似层状或透镜状,与围岩产状一致,受地层控制,随同地层一起褶皱、变质和断裂(图1)。矿体与围岩界线清楚,主要由条带状矿石组成,条带状产状与围岩片麻理产状一致。

矿区范围内,目前仅发现一个含矿层,后期断裂的破坏将其切割为东、西两个矿段。

2. 围岩岩性 矿体(层)直接围岩主要为混合岩化黑云斜长片麻岩,夹少量石英黑云片岩和花岗片麻岩。黑云斜长片麻岩为条带状构造或片麻状构造,鳞片变晶结构,主要由石英、斜长石(以更长石为主)、正长石、黑云母(多已绿泥石化)组成,不同程度含

①地质科学院地矿所一室构造组:浙江省中生代火山岩基底构造的几点新认识(内部研究报告),1975年。

②朱清涛:浙江陈蔡群K-Ar等时年龄,1982年。

③胡桂明等:浙江古岛弧带特征及其与金属矿床成矿的关系,天津地质调查所所报,1983,第1期。

石墨和石榴石。

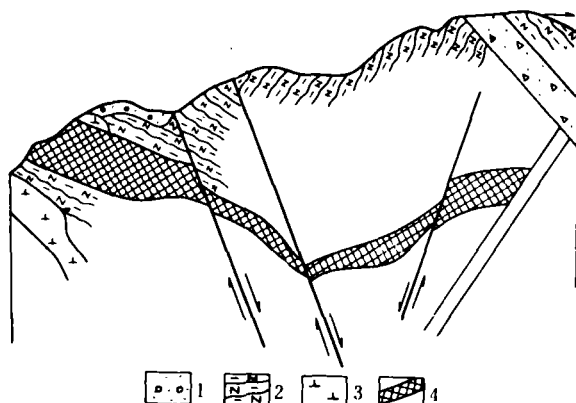


图1 浙江坞场含银多金属矿床四线地质剖面图

1—第四纪坡积物；2—建瓯群黑云斜长片麻岩；

3—闪长玢岩；4—矿体

混合岩化有两期：早期呈条带状，顺片麻理分布，主要由石英和钠（更）长石组成，可能是就地重熔的产物。物质组份没有明显的迁移，混合岩化可能发生在初始变质作用之末。晚期混合岩化呈不规则团块状或脉状，主要由石英和伟晶状正长石（包括部分微斜长石）组成。它切割了片麻理或部分矿体，从而破坏了矿体的连续性，并形成一些与混合岩化有关的热液蚀变，使部分矿体活化形成铅锌或黄铁矿脉。这次混合岩化可能与中生代岩浆活动有关。物质成分有较大的迁移。

根据：①岩石中不同程度含有石墨鳞片（照片1），代表有机沉积物的变质产物；②矿层顶底板8个岩石化学全分析结果（表2）用尼格里法计算，投影大部分落在沉积岩区。确定其原岩主要为含有机质的泥砂质沉积岩。个别样品含CaO、MgO、CO₂高，镜下观察主要由绢云母化斜长石、绿泥石、绿帘石和碳酸盐组成，原岩可能是含钙镁质碳酸盐的泥质岩石，少数样品落在火成岩区，可能与远源火山物质参与沉积有关。

根据岩石的矿物组合特征以及常见长石为更长石（An₂₅~An₃₀），确定其变质相为绿帘石角闪石相。

3. 矿区构造 区域范围内，建瓯群变质岩系强烈褶皱变形，但就矿区而言，大的褶曲构造不十分发育，地层相对平缓，产状一般为140~235°，∠20~50°。但小型柔皱褶曲十分发育，表明变质过程中有广泛的塑性变形，从而缓解了力的作用，使大范围的

表2

坞场多金属矿床岩石化学成分

顺序	样号	岩 石 名 称	氧 化 物					重 量 百 分 比					总 和				
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O		P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	SO ₃
1	W-36	黑云斜长片麻岩	65.76	0.71	15.38	0.69	3.93	0.18	1.46	2.06	2.41	3.62	0.14	2.62	0.31	0.02	99.29
2	W-38	含石榴黑云斜长片麻岩	60.06	0.83	17.67	0.80	6.08	0.21	0.73	3.24	1.62	5.14	0.06	3.29	0.25	0.02	99.97
3	W-39	碳酸盐绿帘石岩	43.11	0.54	17.15	3.13	5.38	0.20	10.13	7.20	3.96	1.20	0.24	4.26	4.25	0.05	100.83
4	W-11	含石榴黑云斜长片麻岩	50.79	0.93	20.56	1.85	8.99	0.16	0.81	5.14	0.73	1.12	0.04	5.06	0.34	0.01	99.56
5	W-12	含石榴黑云斜长片麻岩	63.32	0.77	15.23	1.59	1.32	0.11	1.86	2.83	2.35	3.50	0.07	2.66	0.80	0.01	99.42
6	W-15	黑云斜长片麻岩	65.31	0.65	15.25	0.97	1.53	0.08	1.29	2.35	3.24	3.38	0.15	2.17	0.43	0.02	99.82
7	W-16	含石榴石英黑云片岩	56.27	0.80	19.22	1.41	7.22	0.26	1.46	1.01	0.96	1.34	0.07	3.93	0.17	0.01	100.13
8	W-30	含石榴石英黑云片岩	55.51	0.97	18.46	1.60	6.97	0.21	0.96	1.09	1.37	5.73	0.12	3.57	0.19	0.01	99.79

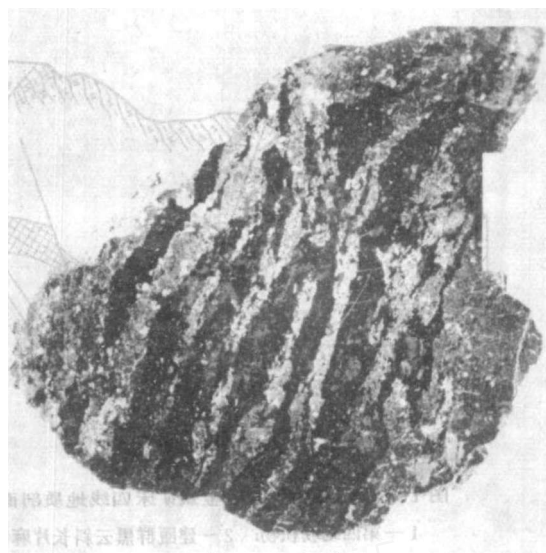
褶皱构造退居次要地位。这种小型褶皱在一定地段加大了地层和矿体厚度,使矿体呈透镜状,最大厚度达30余米。成矿后的断裂构造十分发育,最主要的有两组。一组北西走向,倾角 50° ,倾向北东,大部分为闪长玢岩充填;另一组为北东走向,少数为石英斑岩充填,还有一些未被岩脉充填。多数断层断距不大,但破坏了矿体的连续性,给开采带来困难。少数断距较大,将矿层切割为东、西两个矿段,东盘下滑,埋深加大,不利开采。



照片1 多金属矿石中之鳞片状石墨(灰白色),
反光, $\times 200$, 龙泉坞

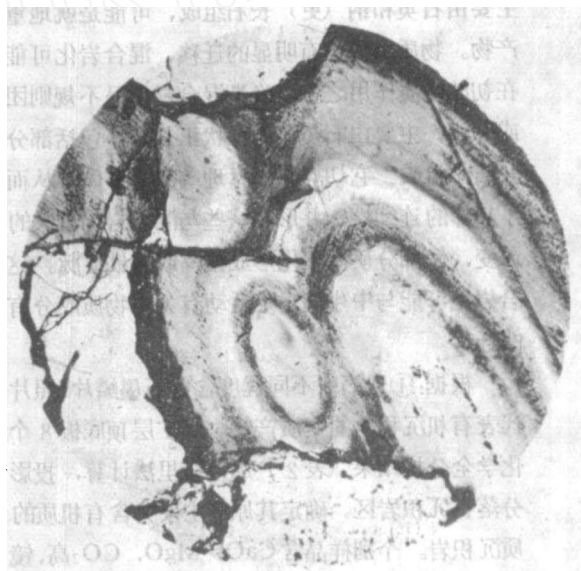
4. 矿石矿物成分及结构构造 金属矿物主要是磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿,少量镜铁矿、白铁矿、铜蓝等。脉石矿物为绿泥石、绿帘石、阳起石、石英、长石,其次为绢云母、磷灰石和石墨等。矿石以条带状构造(照片2)为主,其次为不规则团块状和浸染状。矿石结构除部分黄铁矿、方铅矿和镜铁矿为自形晶结构外,大部分为半自形至他形晶结构。从结晶粗细看,多数颗粒为大于2mm的粗晶结构。闪锌矿中固溶体分解形成的乳浊状结构十分发育。乳滴成分除黄铜矿外,还有一部分为磁黄铁矿。

5. 矿石化学成分及主要有用元素赋存状态 矿石的主要化学成分如表3。铜、铅、锌、硫是矿床回收的主元素,金、银、锡是主要的伴生元素。铜、铅、锌分别赋存在黄铜矿(少量铜蓝)、方铅矿和闪锌矿中。从表3可见,银与铅、铜表现出明显的正相关关系。



照片2 示多金属矿石的条带状构造。

灰白色条带由金属硫化物组成,手标本,龙泉坞



照片3 示多金属矿石中的白铁矿鳞状结构,
反光, $\times 100$, 龙泉坞

这与单矿物的分析结果是吻合的。据单矿物分析,方铅矿含银2875克/吨,黄铜矿含银500克/吨,闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿分别含银26.8克/吨,4.8克/吨和27.5克/吨。可见银主要呈分散状态分布在方铅矿和黄铜矿中,目前尚未发现银的独立矿物。金的赋存状态不清楚,少数铅或铜的精矿含金达1克/吨,可见金与银有相似的赋存状态。锡的含量一般高于克拉克值1~2个数量级,个别样达到边界品位(0.1%),但赋

存状态不清楚,目前尚未利用。硫主要赋存在黄铁矿和磁黄铁矿中,部分在方铅矿、闪锌矿和黄铜矿中。矿石中的全铁含量普遍较高,大部分赋存在黄铁矿和磁黄铁矿中,部分在赤铁矿、磁铁矿和闪锌矿中,少量在脉石矿物中。据光谱半定量分析,其他伴生元素还有Cd、Bi、Ga、Ge、In、Se、Co、Ni等,大部分分散在方铅矿、闪锌矿和黄铁矿等硫化物中。

矿床的层控特征

矿床的层控特征主要表现在下列几方面:

1.矿体呈似层状和透镜状(图1),与岩层整合并被限制在一定的地层单元内,随同地层一起褶皱、断裂和变质。

2.矿体主要由条带状矿石组成,金属矿物在脉石中呈条带状分布(照片2)。条带状产状与围岩片麻理的产状一致。金属矿物沿垂直于层面的方向有规律地变化,形成几个下部以黄铁矿和磁黄铁矿条带为主,上部以

闪锌矿和方铅矿条带为主的小沉积旋回,反映原生沉积物的化学分异作用。

3.不仅在围岩中含有石墨,在矿层中也经常发现石墨鳞片(照片1),表明矿层与围岩是同生沉积形成。有机质可能对溶液或胶体中金属元素的沉淀起了促进作用。

4.矿体(层)顶底板均未发现明显的热液蚀变晕圈和分带,大部分脉石矿物绿泥石、绿帘石和阳起石是变质产物,部分较自形的阳起石、绿帘石是与晚期混合岩化有关的热液蚀变产物。这种蚀变生成的纤维状阳起石明显切割了金属硫化物,显然是成矿后生成的。

5.据矿体底板围岩的化学分析结果(表4),从围岩进入矿体,成矿元素Cu、Pb、Zn、Ag、Sn显示突然增高的特征,没有一般热液矿床越近矿体,成矿元素越高的原生晕带,却反映出一般沉积矿床矿层与围岩界线较清楚的特征(图2)。

龙泉坞含银多金属矿床矿石简项分析结果(%)

表 3

样号	Au (克/吨)	Ag (克/吨)	Cu	Pb	Zn	TFe	Sn	S	注
W-69	0.31	18.5	0.03	1.10	2.79	12.07	0.053	2.2	顶板 ↑
W-68	0.06	10.5	0.02	0.26	0.58	10.97	0.057	0.35	
W-67	0.07	132.0	0.33	0.82	0.86	28.77	0.089	1.33	
W-66	0.03	22.5	0.11	1.90	6.97	24.99	0.034	16.73	
W-65	0.05	154.0	0.29	2.15	2.61	30.84	0.076	3.78	
W-64	0.04	1893.0	12.21	3.91	1.03	41.75	0.11	26.55	
W-63	0.10	18.5	0.06	0.70	1.97	17.07	0.026	7.99	底板

龙泉坞多金属矿床围岩底板岩石微量元素含量

表 4

样号	岩(矿)石名称	Cu	Pb	Zn	Sb	Ga	Sn	Co	Ni	Au	Ag	注
W-33	多金属矿石	1790	12800	97000	23	19	105	60	26	0.0004	22.91	矿体
W-34	贫矿石	50	1020	140	1.2	25	17	<10	<10	0.0016	1.18	
W-35	黑云二长片麻岩	9	200	290	3.4	31	21	<10	11	0.0016	0.91	底板
W-36	黑云斜长片麻岩	8	41	91	3.0	33	16	<10	14	0.0008	1.05	
W-37	黑云斜长片麻岩	50	90	150	2.4	33	6	15	60	0.0004	0.86	
W-38	含石榴石黑云斜长片麻岩	3	28	75	2.4	36	6.3	12	41	0.001	0.91	
W-39	碳酸盐绿帘石岩	6	52	195	1.7	33	12	17	41	0.002	1.92	
W-40	硅化黑云斜长片麻岩	20	30	60	1.9	27	1	<10	19	0.002	0.31	围岩
W-41	含石榴石黑云斜长片麻岩	2	42	117	3.5	43	3.4	21	63	0.0004	1.53	
W-42	含石榴石黑云斜长片麻岩	4	35	83	2	33	<3	13	10	0.0008	0.91	
W-43	黑云斜长片麻岩	9	10	150	1.4	28	<3	<10	28	0.0002	0.42	
W-44	黑云斜长片麻岩	120	120	250	5.7	27	3	33	110	0.0008	1.18	
W-45	黑云斜长片麻岩	13	21	70	2.2	30	<3	12	42	0.0006	0.81	

6. 矿石中发现胶状白铁矿的蠕状结构 (照片 3), 代表原生沉积结构的变余残留。

7. 矿层中, 矿脉及矿脉互相穿插的现象极为罕见, 仅有少数石英硫化物小脉切割了矿体和条带状矿石。这种矿脉显然是与晚期混合岩化热液活动有关。在矿体中不占主导地位。

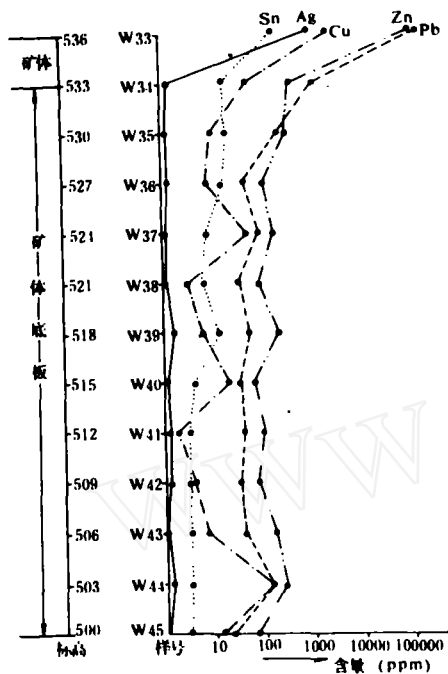


图 2 矿体底板岩石铜、银、锡含量 (除银外, 其他元素为对数值)

8. 据黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿单矿物分析, 其 S/Se (表 5) 多数大于 20000, 与海水 S/Se 比在同一数量级范围内或小一个数量级, 仅方铅矿较低, 反映其海洋沉积成因的特征^[2]。然而上述硫化物的 Co/Ni 比均大于 1, 反映火山沉积的特征, 有可能硫主要是海水硫酸盐供给的, 而金属元素来自远源的火山喷气作用。

鸟坳多金属矿床硫化物 S/Se 比和 Co/Ni 比 表 5

项目	海水	黄铁矿	磁黄铁矿	闪锌矿	黄铜矿	方铅矿
S/Se	232000	30288	18977.9	330600	20329	283
Co/Ni		5.3	3.2	21.0	8.0	

9. 对矿石中两个磁铁矿单矿物进行了化学分析 (表 6), 其化学成分特征与区域变质铁矿床中的磁铁矿十分接近, 与岩浆热液等其他类型磁铁矿有较大的

差异, 表明其沉积变质成因的特征^[1]。

据以上特征, 认为鸟坳含银多金属矿床是同生沉积变质后又经热液和构造改造的层控矿床。

矿床的铅、硫同位素特征

1. 铅同位素特征 对矿体中 4 个方铅矿进行了铅同位素测定, 结果如表 6, 1~3 号样采自矿层, 4 号样采自穿层的石英方铅矿脉。从表中可以看出: ①铅同位素的组成很稳定, 彼此的差值均小于 1%; ②在 $Pb^{207}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ 和 $Pb^{208}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ 坐标图上 (图 3), 分析值均落在正常铅增长曲线范围内; ③用霍姆斯-豪特曼斯计法计算的模式年龄 (表 7) 为 4 亿年左右, 与地质上根据钾氩法等时线年龄确定的地层时代 (前泥盆纪) 基本相符。可见其具有单阶段铅即正常铅的特征, 与同生沉积矿床的铅同位素组成特征相似^[3]。W-31 号样虽经历了再次改造, 但无放射性铅同位素的加入, 故其组成未变。

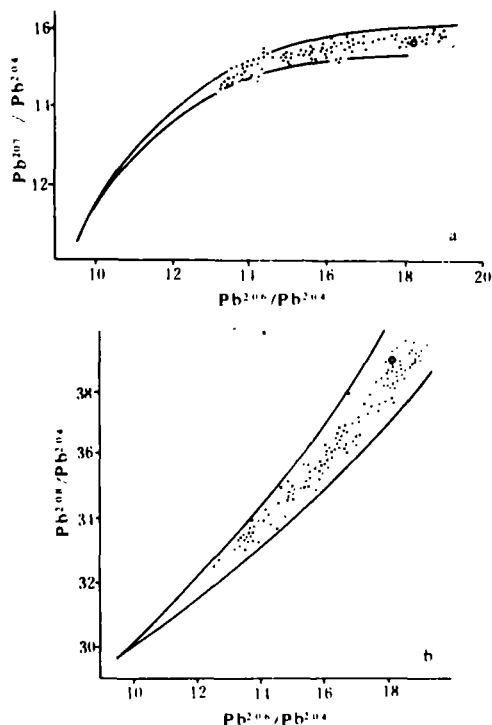


图 3 正常铅的 $Pb^{207}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$

(a) 和 $Pb^{208}/Pb^{204}-Pb^{206}/Pb^{204}$ (b) 坐标图
○ 为鸟坳矿床铅同位素投影点

磁铁矿的化学成分(%)特征

表 6

编号	矿床类型	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	V ₂ O ₅	CaO	Ni (ppm)	Co (ppm)
1	岩浆矿床	3.55~21.72	12.5~1.6	0.11~1.57	0.38~7.92	0.05~0.78		180	30
2	接触交代矿床	0.07~0.1	0.037~0.8	0.095~2.5	0.35~11.51	0~0.05	0.7803	30	70
3	热液交代矿床	0.107~0.888	1.82~1.71	0.06~0.227	1.29~13.01	0.03~0.6		410	
4	区域变质矿床	0~1.2	0.02~0.59	0.017~0.14	0.19~0.55	0~0.04	0.4489	10	50
W-21	鸟喙多金属矿床	0.04	0.6	0.021	0.12	0.005		32	23
W-75	鸟喙多金属矿床	0.067	0.58	0.14	0.13	0.007		4	34

矿石中方铅矿的同位素组成及 φ 值年龄*

表 7

顺 号	样 号	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴	φ 值年龄 (亿年)
1	W-14	1.358	24.63	21.26	52.75	18.137	15.655	38.814	3.84
2	W-16	1.360	24.58	21.27	52.79	18.074	15.610	38.816	1.57
3	W-22	1.355	24.63	21.26	52.76	18.177	15.690	38.937	1.39
4	W-31	1.355	24.62	21.27	52.77	18.170	15.697	38.915	1.54

* 北京铀矿研究所同位素室测定。

2. 硫同位素特征及硫源的讨论 对矿区不同硫化物进行了硫同位素测定(表8)。21样品的 δS^{34} 值的分布范围为2.8至4.9, 算术平均值为3.8, 极差为2.1, 标准差为0.56, 可见其分布是比较集中的(图4)。不同硫化物的同位素组成略有差异, 磁黄铁矿(4.7) > 黄铁矿(4.3) > 黄铜矿(4.25) > 闪锌矿(3.77) > 方铅矿(3.24)。表明不同矿物相的硫同位素交换反应已基本平衡。乍看起来上述特征似乎反映岩浆热液矿床的特征, 与前述矿床的层控特征似有矛盾。

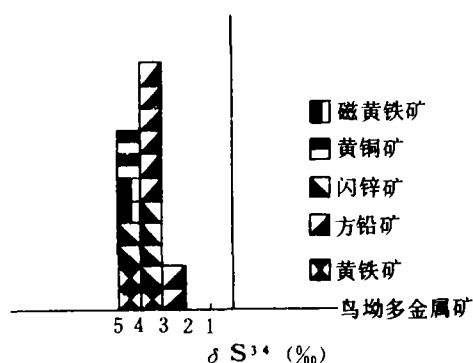


图 4 鸟喙矿床硫同位素组成

D. F. Sangster 等对层控矿床的硫同位素进行了广泛深入的研究, 加拿大地质调查所用电子计算机处理了世界上 110 个层控矿床的 23000 个硫同位素数据^[2]。结论如下: ①层控矿床的硫源主要是当代的海

水硫酸盐; 火山硫和生物硫不起主导作用; ②各时代石膏矿床的硫同位素组成可以近似代表当时海水硫酸盐的组成, 在半封闭海盆中膏盐的 δS^{34} 略高于海水硫酸盐; ③各时代层控矿床的 δS^{34} 值较同时代海水硫酸盐低 3.2~23.4%, 平均低 15%, 这主要是由于细菌对海水硫酸盐的还原作用富集 S^{32} 造成的。因而各时代层控矿床的硫同位素组成与同时代海水硫酸盐保持着某种相关关系(图5)。

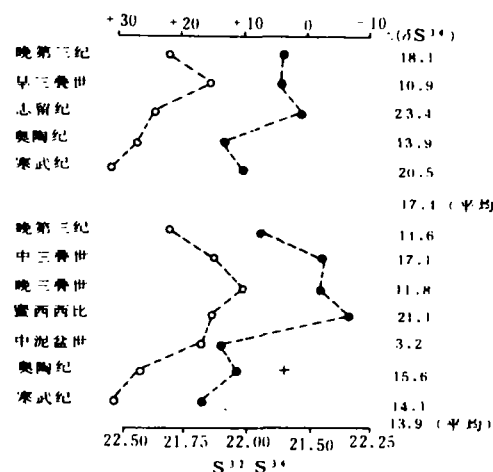


图 5 不同时代层控海相硫化物的平均

δS^{34} 值与同期海水硫酸盐组成对比图

上面一组为火山型矿石; 下面一组是沉积型矿石。○代表海水硫酸盐; ●代表层控硫化物矿床; + 代表鸟喙多金属矿床

(据 D. F. Sangster, 1976)

鸟坳含银多金属矿床硫同位素组成 表 8

样品编号	测定矿物	δS^{34}	算术平均值	标准差
W-11	方铅矿	+2.8	3.21	
W-15	方铅矿	+3.5		
W-14	方铅矿	+3.1		
W-22	方铅矿	+3.1		
W-31	方铅矿	+3.1		
W-16	方铅矿	+3.3		
W-21	方铅矿	+2.9		
W-28	闪锌矿	+3.7	3.77	
W-27	闪锌矿	+1.1		
W-25	闪锌矿	+3.7		
W-23	闪锌矿	+1.1		
W-22	闪锌矿	+3.9		
W-16	闪锌矿	+3.2		
W-12	闪锌矿	+3.7		
W-15	黄铜矿	+1.3	1.25	
W-32	黄铜矿	+1.2		
W-12	黄铁矿	+1.5	1.30	
W-13	黄铁矿	+3.9		
W-10	黄铁矿	+1.5		
W-25	磁黄铁矿	+1.5	1.70	0.56
W-18	磁黄铁矿	+1.9		
总平均			3.80	

注：由吉林冶金地质研究所测定。

如果上述 Pb—Pb 法模式年龄接近于实际年龄，那么含矿地层时代相当于下古生代奥陶纪。当时海水

的硫酸盐 δS^{34} 值为 27‰（可惜矿区找不到石膏来证实这一点），那么，我们可以推论，现在鸟坳多金属矿床的硫同位素组成是奥陶纪海水硫酸盐经细菌还原富集了 S^{32} ，后又经变质作用均一化的结果。这意味着细菌还原作用要使 δS^{34} 值降低 20‰ 以上，从图 5 看，这一值虽然偏大，但仍在允许范围之内。原因之一可能与我们测定的矿物以方铅矿和闪锌矿为主，磁黄铁矿和黄铁矿少，因而 δS^{34} 的平均值（3.8‰）偏低，从而使 $\Delta \delta S^{34}_{\text{海水/矿体}}$ 的值偏高。

当然，如果认为矿床的硫主要是深源火山活动所提供的，就硫同位素组成本身来说，并无矛盾。前述硫化物 Co/Ni 均大于 1，也支持火山活动提供物质来源的观点。不过就矿区范围来说，地质上尚无足够证据，但不排除远源火山物质参与沉积。

综上所述，我们认为，鸟坳含银多金属矿床应属海底沉积变质后经热液改造的层控矿床。其沉积环境可能是岛弧环境下的半封闭古海盆，海水硫酸盐是主要硫源，岛弧火山活动可能提供了金属物质的来源，有机质和细菌的还原作用则促进了金属的沉淀。

参 考 文 献

- [1] 徐国凤等：地质与勘探，1980，第 3 期
- [2] Wolf, K. H.: 层控矿床和层状矿床（中译本），第 2 卷，地质出版社，1976 年
- [3] 宜昌地质矿床所：铅同位素地质学的基本问题，地质出版社，1979 年

