

# 南京栖霞山铅锌矿床成因探讨

郭晓山 肖振明 欧亦君 陆勤星

(中国有色金属工业总公司华东地质勘探公司810队)

鉴于南京栖霞山铅锌矿床尚未出现侵入岩体,故对其成因认识有中低温远成热液、深岩浆源热液、沉积-改造<sup>①</sup>等观点。近年来,又有二元二次层控<sup>②</sup>、叠生层控<sup>③④</sup>、沉积-热液叠加层控<sup>⑤</sup>、多源层控<sup>⑥</sup>等观点。笔者在综合前人资料的基础上,对矿床的成矿物质来源和成矿作用进行了研究,认为矿床应属壳源-后成层控矿床,并建立了栖霞山式铅锌矿床的成矿模式。

## 一、矿床地质特征

### (一) 赋矿层位及岩性

该矿床赋矿层位为下石炭统一二叠统( $C_1-P_1$ ),主要为中石炭统黄龙组( $C_2$ )障壁海湾相粗晶灰岩、咸化泻湖相白云质灰岩、浅海相含生物碎屑灰岩和含锰灰岩,约70%的矿石赋存在这一层位内。这套地层厚约360米,为海进序列层位。岩层中常见透镜状、似层状含锰灰岩(厚可达45米)和多层薄层状、层纹状黄铁矿贫矿层(单层厚数厘米—数十厘米不等),含锰2—9.38%、含硫量可大于8%,而且含铅、锌亦高(一般数百—数千ppm),构成含铅、锌的硫、锰贫矿层。

石炭一二叠系碳酸盐岩成矿元素丰度较高,含有机质丰富,是有利的赋矿岩层。

### (二) 控矿构造

矿区出露的地层分属两个构造层:志留系坟头群一二叠系龙潭组( $S_{2-3}-P_1$ )组成栖霞山复式背斜,为下构造层;侏罗系象山群( $J_{1-2}$ )高角度不整合覆盖其上,为上构造层。纵向断裂 $F_2$ 发生于栖霞山复背斜倒转翼的 $D_3$ 与 $C_1$ 之间,纵贯全区,断续延长达5000米以上。它形成于印支期,但在燕山期复活,向上切割象山群形成 $F_3$ ,侧向上使不整合面发生错动形成 $F_7$ (亦称断碎不整合面)。该矿床之主矿体即产于 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_7$ 交汇处(图1)。古岩溶角砾岩带沿不整合面和断裂带分布,主要发育在不整合面以下150米范围以内的石灰岩分布地段,宽数米至数十米不等。岩溶角砾岩可分为交代角砾岩、溶塌角砾岩和溶填砂岩<sup>⑦</sup>。赋矿性以

- ① 王之田1980年“长江中下游铜矿成矿复合模式及找矿意义”。
- ② 肖振民等1980年“南京栖霞山铅锌锰矿床层控及二元二次成矿问题探讨”。
- ③ 胡受奚1980年“关于层控矿床的定位机制和分类”。
- ④ 刘孝善1980年“江苏栖霞山层控铅锌矿床的成因”。
- ⑤ 蔡彩文1983年“栖霞山铅锌多金属矿床物质成分与矿床成因”。
- ⑥ 肖振明等1983年“栖霞山铅锌锰矿床的多源层控特征”。
- ⑦ 溶填砂岩指充填在石灰岩小溶洞中的砂级碎屑堆积物,略经分选,含少量砾石,钙泥质胶结,具层理构造。

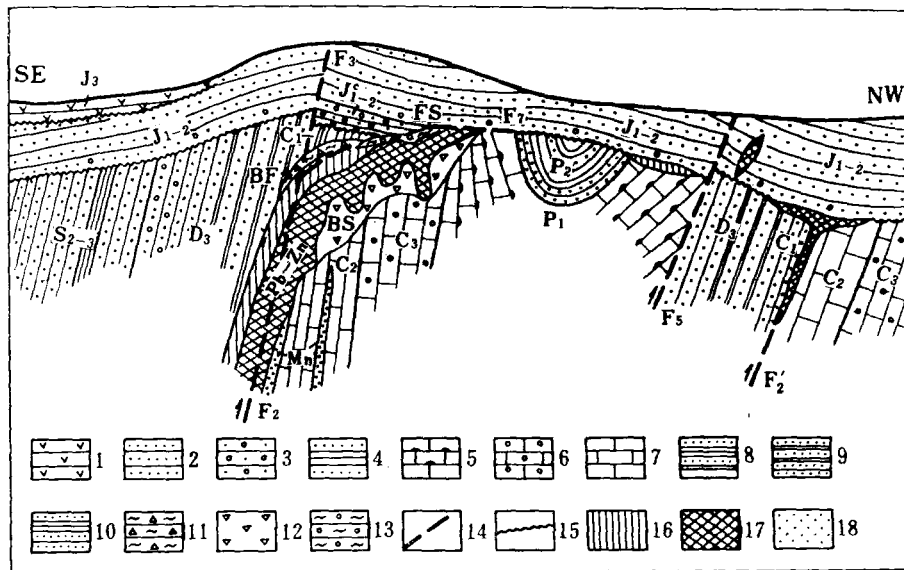


图 1 南京栖霞山铅锌矿床综合剖面图

1—上侏罗统陆相火山岩；2—中下侏罗统象山群砂岩；3—象山群底砾岩；4—上二叠统砂页岩；5—下二叠统燧石灰岩；6—上石炭统船山组灰岩；7—中石炭统黄龙组含锰灰岩、厚层灰岩；8—下石炭统砂页岩；9—上泥盆统五通组砂岩、石英岩；10—中上志留统坟头群粉砂岩夹页岩；11—断层角砾岩；12—岩溶角砾岩；13—复合角砾岩；14—断层；15—沉积不整合面；16—硫矿体；17—铅锌矿体；18—锰矿体

Fig. 1. Generalized section of the Qixiashan lead-zinc deposit.

1. Upper Jurassic volcanic rocks of continental facies; 2. Middle-Lower Jurassic sandstone of Xiangshan Group; 3. basal conglomerate of Xiangshan Group; 4. Upper Permian sandstone and shale; 5. Lower Permian chert limestone; 6. Upper Carboniferous limestone of Chuanshan Formation; 7. Middle Carboniferous manganese-bearing limestone and thick-layered limestone of Huanglong Formation; 8. Lower Carboniferous sandstone and shale; 9. Upper Devonian sandstone and quartzite of Wutong Formation; 10. Middle-Upper Silurian siltstone intercalated with shale of Fentou Group; 11. fault breccia; 12. Karst breccia; 13. Composite breccia; 14. fault; 15. unconformity; 16. sulfur deposit; 17. lead-zinc orebody; 18. manganese orebody.

溶塌角砾岩为佳，有用矿物多以胶结物形式产出。沿断裂分布者常为断层角砾岩与岩溶角砾岩叠加的复合角砾岩，其赋矿性则更好。横向断裂在矿区较好发育，当其与赋矿的纵向断裂相交时，往往使交叉部位的矿体膨大。但是，当其在延伸方向上一离开赋矿地层切入其它地层时，矿体则立即尖灭。还须指出，有的横向断裂规模大，延长数千米，切割亦深，甚至延伸到基底岩层，可能是矿液的通道。

$F_2$ 断裂使五通组 ( $D_3$ ) 石英岩、石英砂岩逆冲到石炭—二叠系灰岩之上，从侧上方形成屏蔽层；当上构造层象山群砂岩沉积之后，从全上方封闭，完全阻止了矿液的扩散。因此，位于石炭—二叠系部位的整个断裂破碎带（主要是 $F_2$ 断裂带）、岩溶角砾岩带和不整合面成为理想的储矿构造（图1）。

### （三）矿石的物质组分及结构构造

矿石的主要矿石矿物为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿。脉石矿物为石英、方解石。次要矿物和较少见的矿物有菱锰矿、黝铜矿、黄铜矿、辉银矿、白云石、重晶石等。主要有用元素为铅、锌、硫，尚伴生有锰、铜、金、银、镉、铍、钼等多种有益组分。

矿石结构主要为粒状结构、镶嵌结构、交代结构,尚有显微压碎结构、微包含结构、生物细胞结构(草莓结构,红藻、蓝藻等)<sup>①</sup>。矿石构造主要为角砾状构造,次为块状构造和浸染状构造,尚有脉状、条带状、层纹状、晶洞状和残余构造等。

#### (四) 围岩蚀变

矿区地表未出露侵入岩体,钻探施工至800米深度也未见及。但据磁测资料推断,在矿区千米以下的深度可能存在隐伏的深成侵入岩体,时代属印支—燕山期。围岩蚀变微弱,且范围狭小,蚀变带一般宽1—数米,仅在矿体顶、底板和断裂带附近发育,较为常见者为硅化、碳酸盐化、重晶石化,局部见萤石化,石膏化等。由于围岩蚀变和围岩中的矿化都很微弱,故矿体与围岩的界线十分清晰,多数情况下只凭肉眼观察即能区分。须指出,重晶石化的普遍出现(如ZK1842号孔在矿体底板黄龙组灰岩中见30余米厚的脉状重晶石),是古岩溶作用<sup>①</sup>和渗流热卤水活动<sup>②</sup>的重要标志。重晶石主要分布在矿体顶、底板附近和晶洞中。前者呈脉状、团块状产出,而后者则充填在晶洞中心。重晶石晶体粗大,为透明板状晶集合体。

## 二、矿床成因探讨

### (一) 成矿物质来源

#### 1. 成矿金属元素铅、锌等的来源

矿区方铅矿的铅同位素组成见表1。铅同位素组成均匀,变化范围仅0.73—1.03%,故本矿床应属铅同位素稳定的矿床。各样品在坎农三角图上的投影几乎重叠在一个点上,均落

表1 方铅矿铅同位素组成及计算结果表

样品号	$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}}$	$\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}}$	$V_1$	$\mu_1$	$\varphi$	模式年龄 (亿年)
栖霞1	17.5359	15.4158	37.7721	0.0637	8.7814	0.62242	5.77
栖霞2	17.6196	15.4894	37.8300	0.0646	8.9080	0.62500	6.02
栖霞3	17.5137	15.5155	37.8494	0.0638	8.7908	0.63625	7.07
栖霞4	17.4383	15.4228	37.5631	0.0639	8.8038	0.63075	6.56
地栖霞1*	17.5275	15.4028	37.6567	0.0636	8.7582	0.62150	5.68

云南省地质科学研究所测定; \*据江苏省地质矿产局陈思松。

计算采用参数(Doe, 1974):  $t_0=45.7 \times 10^8$ 年,  $a_0=9.37$ ,  $\lambda=1.55 \times 10^{-11}$ 年<sup>-1</sup>,  $b_0=10.294$

在正常铅范围以内,而且位于最适合曲线附近。据计算,  $V_1$ 为0.0630—0.0646,  $\mu_1$ 为8.7582—8.9080,变化亦在正常铅<sup>②</sup>范围以内。因此,矿床的矿石铅属于正常普通铅,模式年龄为5.68—7.07亿年。由此可知,铅是古铅,其来源主要是前寒武纪的基底岩石。

本区基底地层所见者为震旦系,在矿区东部和西部均有出露,厚度在1400米以上(未见底),可与峡东系<sup>③</sup>对比。其铜、铅、锌、锰等金属含量比本区其它地层都高,特别是铅、锌尤为突出。经系统剖面采样分析,在灰岩、白云质灰岩中平均含铅59.9ppm、锌82.9ppm,

① 据江苏冶金地质研究所1980年“江苏南京市栖霞山铅锌矿床物质组分研究报告”。

② 姜齐节1980年“论渗流热卤水成矿作用的意义和找矿标志”。

在含砾千枚岩和千枚岩中平均含铅110.1ppm、锌179.7ppm。震旦系下部含砾千枚岩中常见火成岩砾石,这说明在此地层形成之前或沉积时曾发生过岩浆活动,其时代与黄陵花岗岩( $8.19 \pm 0.54$ 亿年<sup>[3]</sup>)相当或者稍晚。邻区(皖南)下震旦统火山岩系的出露<sup>[4]</sup>,说明区域上在早震旦世时曾有过火山活动。由此推断,形成矿床的古铅是在晋宁运动<sup>[5]</sup>前后随着岩浆的侵入与喷发由地幔进入地壳的。进入地壳的铅、锌等元素以隐生宙“原生矿床”,或以分散状态赋存于基底岩石中。其后,局部地壳上升,基底隆起遭受剥蚀,其中的铅、锌等元素被搬运到沉积盆地中,以离子吸附和少量硫化物沉淀<sup>①</sup>的形式固定到沉积物中,在成岩—后生阶段向石炭—二叠系集中,甚至局部形成含铅、锌的硫锰贫矿层,使这一层位成为赋矿层。据分析, C<sub>1</sub>—P<sub>1</sub>地层中铅含量为12—115ppm, 锌为20—96ppm, 锰含量为430—8800ppm(含锰灰岩可高达9.38%),高于地壳中同类岩石平均含量<sup>②</sup>数倍—数十倍。这表明铅、锌等元素在地壳表层岩石中丰度也比较高,但低于基底岩石。当上述岩层遭受古岩溶作用和渗流卤水溶滤时,铅、锌等元素则被活化转移到成矿热液中。由推测的隐伏深成侵入体,可设想基底中的铅、锌也可能转移到岩浆热液内,再汇合到渗流卤水中形成成矿热液,岩浆还可提供部分铅、锌等金属元素。不过,铅、锌等成矿物质来源的主体是上部地壳。

## 2. 硫源

从矿区80个硫化物矿物的硫同位素组成<sup>③</sup>来看:闪锌矿和方铅矿 $\delta S^{34}$ 值比较集中,分别为 $-5.2—+4.5\%$ 和 $-1.72—+2.6\%$ ;黄铁矿的 $\delta S^{34}$ 值为 $-27.4—+14.1\%$ ,变化范围超过40%。富含S<sup>32</sup>的黄铁矿多具生物细胞结构和层纹状构造,产于矿体的上、下盘,或不整合面附近的矿体中。受断裂控制的矿体中的硫化物,其 $\delta S^{34}$ 值以正值居多。虽然全矿区硫同位素组成离散度较大,但在 $\delta S^{34}$ 频数直方图上却有一个相对集中区,呈不典型的塔式分布,塔峰略偏正值一方(图2)。

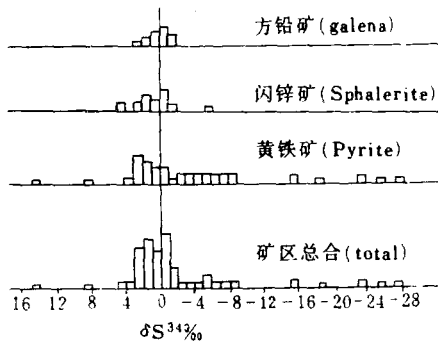


图2 硫同位素组成频数直方图

Fig. 2. Histogram of sulfur isotopic compositions.

硫的来源可能有三种:赋矿地层中的多层贫硫矿层,显示出生物硫的同位素组成特征;上覆地层中的硫(主要是中下三叠统青龙群中富含氧化态硫的膏盐层)和古风化地表水系的硫;下伏地层和基底岩石(含多层蒸发岩和磁黄铁矿贫矿层)中的硫。这些硫都是来自上部地壳,可统称为壳源硫。另外,隐伏的深成侵入体,也有可能为矿床带来一部分幔源硫。

栖霞山铅锌矿与关门山铅锌矿<sup>[7,8]</sup>和美国密西西比型铅锌矿<sup>[6]</sup>相比,其硫同位素组成要复杂得多(表2)。密西西比型和关门山矿床主要是摄取基底海相地层(或原生卤水)中的硫和成矿物质成矿,硫主要为富S<sup>34</sup>的海水硫,故 $\delta S^{34}$ 值均为正值,且变化范围不大;而栖霞山的硫是多来源的,硫化物形成的环境差异较大,硫同位素分馏机理亦相应不同,故反映在硫同位素组成上变化较大。

① 据武汉地质学院地球化学教研室1979年资料。

② Turekian和Wedepohl 1961年资料:碳酸盐岩平均含Pb 9ppm, Zn 20ppm, Mn 1100ppm。

③ 样品均由冶金工业部桂林地质研究所测定。

表2 硫床硫同位素组成对比表

矿床名称	硫同位素值‰ (CDT)			
	金矿组成	闪锌矿	方铅矿	黄铁矿
栖霞山铅锌矿	-27.4—+14.1 常见值 -8.3—+4.5	-1.5—+4.5	-1.7—+2.6	+27.4—+14.1 常见值 -8.3—+4.2
密西西比型 铅锌矿 <sup>(9)</sup>	+6.3—+15.9	+11.4—+15.9	+6.3—+11.4	白铁矿 +12.2—+32.3
关门山铅锌矿 <sup>(7)</sup>	+4.9—+27.1 常见值 +13.7—+27.1	+14.6—+25.4	+13.7—+24.5	+20.3—+27.1

## 3. 成矿溶液的水源

根据主要成矿阶段脉石矿物石英和碳酸盐矿物的氧同位素组成(表3), 采用实验公式  $1000\ln\alpha_{\text{矿物-水}} = A(10^6T^{-2}) + B$ <sup>(9)</sup> 计算出与矿物平衡水的  $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}^{18}$  值为 -3.35—+7.07‰, 该数值在地下热雨水( $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}^{18}$  值为 -16—+3‰)和原生水( $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}^{18}$  值为 -13—+9‰)的变化范围, 也可以跟美国密西西比铅锌矿床原生水的氧同位素组成( $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}^{18}$  值为 -0.3—+7‰)相比较(以上对比数据均引自参考文献[9])。由此推断, 成矿溶液的水, 可能主要是原生水和由地表渗流到地下的雨水。

表3 石英及碳酸盐矿物氧碳同位素组成

样号	测试矿物	氧同位素组成‰ (SMOW)				碳同位素组成 ‰ (PDB)
		矿物①	平衡水	均一温度②	采用系数	
QGT <sub>1</sub>	钙菱锰矿	+8.31	-0.20	210℃	A为+2.78, B为-3.40 (O'Neil et al, 1969)	-2.75
QGT <sub>2</sub>	方解石	+9.84	+2.42	232℃		+0.21
QGT <sub>3</sub>	菱锰矿	+15.07	+7.07	235℃		-4.20
QGT <sub>4</sub>	方解石	+7.65	+0.40	238℃		-2.94
QGT <sub>5</sub>	白云石	+12.28	+3.35	230℃	A为+3.08, B为-3.24 (麦的赫斯, 1977)	+3.09
QGT <sub>6</sub>	石英	+9.36	-3.35	180℃	A为+3.26, B为-2.98 (贝尔克, 1976)	
QGT <sub>7</sub>	石英	+12.21	+0.62	200℃		
QGT <sub>8</sub>	石英	+11.72	+1.40	222℃		

①由北京大学地质地理系测定; ②由江苏冶金地质研究所测定。

碳酸盐矿物的 $\delta\text{C}^{13}$ 值为 -4.20—+3.09‰, 高于初生碳(-5—-8‰, Taylor), 而与海相碳酸盐的碳同位素组成(平均值为0)接近, 但略偏低。可见, 碳的来源不是深成碳, 而主要来自碳酸盐围岩, 但加入了富含 $\text{C}^{12}$ 的地表水, 才使生成的碳酸盐矿物较之海相碳酸盐的 $\delta\text{C}^{13}$ 值为低。这也反映了原生水和渗流雨水是成矿溶液的主要成分。

## 4. 钡源

本区震旦系至中下三叠统中计有十余层白云岩、白云质灰岩和石膏等蒸发岩层, 总厚度在千米以上, 含钡47.8—770.6ppm, 平均222.6ppm, 高出地壳中碳酸盐岩平均含量(10ppm, Turekian和Wedepohl, 1961)二十余倍。由此看来, 标志古岩溶作用和渗流热卤水活动的重晶石化, 其钡应来源于这些蒸发岩地层。

### (二) 黄铁矿中微量元素钴、镍含量特征

各类矿石中的黄铁矿含钴26—84ppm, 平均41.7ppm; 含镍8—86ppm, 平均28.5ppm。矿区外围的石英辉石闪长岩岩体中的黄铁矿含钴948ppm, 含镍426ppm。可见, 二者在钴、镍含量上有显著差别。据克斯顿研究: 沉积黄铁矿的含钴量小于100ppm, 且钴小于镍; 热液黄铁矿的含钴量为400—2400ppm, 且钴大于镍<sup>①</sup>。由此看出, 本矿床的黄铁矿既不同于纯粹的沉积黄铁矿(因为矿床的黄铁矿钴大于镍), 也有别于热液黄铁矿(因钴含量均小于100ppm), 应是沉积后经渗流热卤水改造的产物。

### (三) 矿物包裹体特征及矿床形成温度

矿物包裹体均为气液相共存的液相包体, 粒度小(大多在10 $\mu$ 以下)、数量多、气液比小(一般5—10%), 多呈孤立状分布。矿物爆裂温度多在200—300 $^{\circ}$ C, 均一温度多在150—280 $^{\circ}$ C, 采用赫尔斯顿曲线得出闪锌矿-方铅矿矿物对硫同位素平衡温度为150—160 $^{\circ}$ C。可见, 成矿热液为中低温。

闪锌矿和方铅矿的爆裂温度在纵向上的变化以深部为高, 向浅部逐渐降低(表4)。同时还表现出断裂部位的高于不整合面部位的。在平面热晕图上出现多个高温中心, 中心位置大致在纵向断裂F<sub>2</sub>与规模较大的横向断裂的交汇处(图3)。在时间上, 即使在后生热液期, 温度也不遵循从早到晚逐渐降低的变化规律, 而表现出在主要矿化阶段成矿温度较高。以上表明, 成矿热液是沿断裂带由深部向上运移的。

黄铁矿的形成温度变化范围较大(爆裂温度175—320 $^{\circ}$ C), 无一定规律可循, 爆裂曲线型式常为零星散爆型, 说明其形成环境差异较大, 部分显示出同生沉积-后生热液改造的特征。

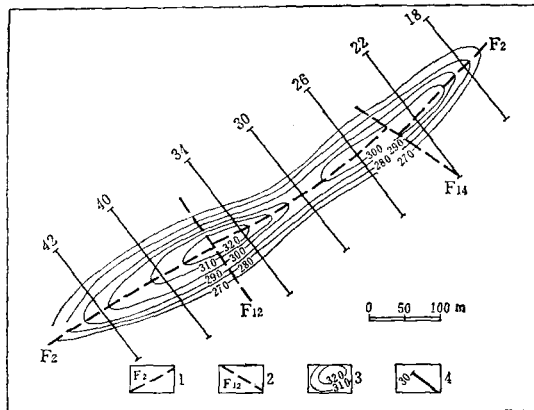


图3 闪锌矿爆裂温度热晕图

(方铅矿热晕图与此相似)

1—纵向断裂; 2—横向断裂; 3—等温线; 4—勘探线及编号

Fig. 3. Isothermal map showing decrepitation temperatures of sphalerite.

1. longitudinal fault; 2. cross fault; 3. isothermal line; 4. exploration line and its serial number.

表4 矿石矿物爆裂温度及其空间变化表

测试矿物	数量	平均温度 ( $^{\circ}$ C)	各标高温度变化范围 ( $^{\circ}$ C)			
			-300米以上	-300—400米	-400—500米	-500米以下
闪锌矿	18	289	230—306	250—308	270	285—328
方铅矿	25	284	215—280	240—290	245—310	290—317
黄铁矿	29	256	无明显变化规律			

由江苏冶金地质研究所测定

① 据成都地质学院《矿床学》教材。

#### (四) 成矿地质作用

##### 1. 构造-岩溶作用

本区印支期(准)地槽回返,强烈的褶皱断裂运动使下构造层地层形成隆起剥蚀和凹陷沉积区,隆起的碳酸盐地层在遭受地表风化侵蚀的同时,还伴随着岩溶作用。在栖霞山复式背斜翼部,沿 $F_2$ 断裂及其与横向断裂交叉部位发育的岩溶作用,因其是在构造(褶皱和断裂)基础上发生和发展的,与常规的单由地表水渗透侵蚀而发育的岩溶作用<sup>[1]</sup>有所区别,故称之为“构造-岩溶”作用<sup>①</sup>。古断裂谷为地表酸性侵蚀水的主要入口,断层角砾岩带和裂隙带形成岩溶循环带,众多的横向断裂与向斜盆地的相接处及纵向断裂与地堑盆地的相接处即是循环水的出口。所以,这是一种具线型入口和多出口的岩溶作用,是特殊的构造地质背景和古地理条件所造成的。

岩溶作用由于侵蚀强烈而发展迅速,加之沉积盆地的快速堆积使出口很快抬高而老化,当进出口均被上覆沉积物(指象山群砂岩)封闭时,古岩溶作用即宣告结束。因此岩溶的结果并不形成有工业价值的岩溶矿床。它的重要作用只是:①使围岩(赋矿岩层)中的一部分难溶组分以“残余富集”的形式在渗透带相对富集(据研究<sup>[1]</sup>,富集率可达100:1),使少量金属硫化物以“搬运沉积”的形式在岩溶角砾岩带(主要是吸收带)发生沉淀。②形成理想的储矿构造。象山群的快速堆积使储矿构造内严重贫氧,封存其中的岩溶水将演化为pH值高, Eh值低和各种金属离子浓度相对较高的含矿溶液。由于地表水带来的大量有机质和围岩本身的有机残留体在细菌作用下分解,氧化态硫被还原,都能使溶液的 $[S^{2-}]$ 浓度增高。这样的环境,极利于金属硫化物的沉淀。③使大量含有各种金属离子和 $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 等阴离子的岩溶水向地下渗透形成渗流卤水。

##### 2. 渗流热卤水的溶滤作用

印支运动后,首先遭受侵蚀的是中下三叠统青龙群灰岩,其上段膏盐层厚50—190米,不但富含氧化态硫( $SO_3$ 含量为21.42—59.04%),还含有大量的氟、氯等卤族元素。这些组分被溶解到水溶液中,使之酸度增加,氧化能力增强。当赋矿岩层(C—P)被侵蚀时,其中的铅、锌等组分亦被溶解到溶液中,大量硫化物被氧化生成 $[SO_4^{2-}]$ ,使溶液具有更高的酸度和溶解能力。地表水的不断补充,使侵蚀水和岩溶水不断向地下渗流。当其流经下伏的多层蒸发岩岩层(总厚>800米)时,这些岩石除供给部分金属元素外,还能提供大量的 $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 等阴离子,使溶液的浓度增加,化学性质更趋活泼。所以,渗流到基底的水溶液,在地下深处经过加温,成为一种溶解能力很强的高浓度热卤水,能使铅、锌等元素从基底岩石中活化转移出来,并以氯化物络合物<sup>②</sup>、重碳酸盐<sup>[10]</sup>或其它形式进行长距离搬运。矿区围岩的溶矿模拟实验表明,pH值高于4、浓度为0.5—3N的氯化钠溶液,在温度高于250℃时获得了铜、铅、锌、锰的最佳溶出量,铅、锌等元素可能是与氯结合成 $[PbCl_4^{2-}]$ 、 $[ZnCl_4^{2-}]$ 络阴离子因溶解在溶液中的<sup>③</sup>。渗流到基底的高浓度热卤水完全能满足这一模拟实验条件。对基底岩石进行溶滤后的热卤水,在高温高压下经过均化作用,即成为形成本矿床的成矿热液。

① 郭晓山1980年“论构造-岩溶作用在南京栖霞山多金属矿床成矿过程中的地位。”

② J. B. Bailey(怀沙译)“方铅矿和闪锌矿沉淀的物理化学条件”。

③ 叶水泉等1983年“江苏省层控铅锌矿床地质特征及成矿机理初探”。





### 3. 矿床的沉淀富集作用

成矿热液在深部热动力驱动下,沿着切割基底的断裂带上升到储矿构造内,由于介质条件发生了巨大变化(温度和压力降低, pH值升高, Eh值降低)使大量的铅、锌等硫化物发生沉淀。渗流热卤水的不断循环,成矿热液的多次活动导致了硫化物不断沉淀、堆积,最终富集成为工业矿床。

#### (五) 矿床成因及成矿模式

综上所述,栖霞山铅锌矿床,成矿金属元素铅、锌等主要来自前寒武纪的基底岩石和石炭一二叠纪的赋矿岩层,硫主要来自各时代沉积岩和古风化地表水系,钡来自海相蒸发岩岩层,成矿溶液的水主要是原生水和雨水。它们都来自上部地壳,亦即成矿物质是壳源的。一部分铅、锌等成矿物质和硫可能来自隐伏的深成侵入体,但不是主要的。矿床严格地受地层和岩性控制,矿石的主要矿物成分和化学成分都较为简单,围岩蚀变微弱,黄铁矿多为沉积-改造产物,这些都显示了矿床的层控特征。矿床也明显地受构造(断裂构造、不整合面和古岩溶)控制,成矿溶液的形成与古岩溶作用和渗流热卤水的溶滤作用密切相关,成矿温度为中低温,成矿时代为燕山中晚期,晚于石炭一二叠纪的赋矿围岩,这些又是后成矿床<sup>[6]</sup>的标志。据此,将本矿床划归壳源-后成层控矿床。笔者并据此建立了栖霞山式铅锌矿床的成矿模式(图4)。矿床的形成,经历了三个历史时期:

**A. 加里东—海西期沉积成岩时期:**形成石炭一二叠系含铅、锌等丰度较高的赋矿岩层,包括其中的硫锰贫矿层。

**B. 印支期构造-岩溶作用和渗流热卤水活动时期:**印支运动及其伴随的构造-岩溶作用造成了理想的储矿构造,使少量有用组分相对富集,大量岩溶水和地表侵蚀水向地下渗透,摄取地层中的金属离子和 $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 等阴离子,形成溶解能力很强的高浓度渗流热卤水。渗流卤水在浅部循环,则在沉积盆地中生成沉积贫矿层。

**C. 燕山中晚期矿床的富集成型时期:**燕山中晚期的断块运动形成了基底断裂。渗流到基底的高浓度热卤水使基底岩石中呈分散状态和“原生矿床”赋存的铅、锌等元素活化转移到溶液中,成为成矿热液。成矿热液受到深部热动力的驱动,则沿着切割基底的断裂带上升到储矿构造内沉淀富集成为工业矿床。

本文在编写和修改过程中,杨敏之、真允庆、叶水泉、沈谓洲等提出了宝贵意见,在此谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] P. Zuffardi (马祖望译) 1979 岩溶和经济矿床 层控矿床和层状矿床 第三卷 地质出版社
- [2] 地质部宜昌地质矿产研究所同位素室 1979 铅同位素地质研究的基本问题 地质出版社
- [3] 王日伦等 1979 中国的上寒武系 国际交流地质学术会议论文集 第七集 地质出版社
- [4] 刘鸿允等 1979 中国南部早震旦世火山活动特征 国际交流地质学术会议论文集 第七集 地质出版社
- [5] 肖仲祥 1979 白云鄂博时代问题的讨论并试论我国前寒武纪年表 全国同位素地质会议文集 第二集 地质出版社
- [6] D. M. 平力克(周剑雄译) 1972 密西西比河上游铅锌矿区成矿过程中硫同位素的分馏作用 稳定同位素地质学文集 地质出版社
- [7] 马振国等 1979 关门山矿床的硫同位素组成 全国同位素地质会议文集 第三集 地质出版社

- [8] 涂光炽 1979 我国若干矿床铅同位素组成的初步探讨 全国同位素地质会议文集 第三集 地质出版社
- [9] 地质部宜昌地质矿产研究所 1982 同位素地质的采样要求 地质出版社
- [10] Чухров Ф. В., 1974, О рудообразовании из вадозных растворов. геол. рудн. месторожд. №3.

## ON THE GENESIS OF THE QIXIASHAN LEAD-ZINC ORE DEPOSIT IN NANJING

Guo Xiaoshan, Xiao Zhenmin, Ou Yigun and Lu Qinxin

(No. 810 Party of East China Geological Exploration Corp, China National  
Nonferrous Metals Industry Corporation)

### Abstract

The Qixiashan lead-zinc polymetallic ore deposit is apparently controlled by strata, lithology and structure and has complicated mineral and chemical compositions and relatively simple major minerals as well as very weak wall rock alterations such as silicification, carbonitization and baritization characterized by medium-low metallogenic temperatures. The sulfur isotope compositions of the sulfide ore are distributed scatteringly ( $\delta S^{34}$  values being  $-27.4$ — $+14.1\%$ ), showing a tower-type distribution pattern along "0" value on the isotope frequency histogram.

The lead in the ore belongs to normal-type one, having model ages ( $\phi$  values) of 568—707 m. y. and initial lead time of pre-Cambrian. The oxygen and carbon isotope compositions suggest that the ore-forming hydrothermal fluids originated mainly from the strata and the meteoric water. The circulation of the infiltrated thermal brine and the "fracturing-karstification" must have played an important role in metallogenic process. No intrusive body has been observed at the surface of the mining area, but a medium-acid magmatic intrusion might exist at depth in the west of the mining area, which undoubtedly provided thermal energy and part of ore-forming materials for the formation of the ore deposit. The mineralization process underwent three stages, i.e., Caledonian-Hercynian sedimentary stage, Indo-Sinian thermal brine circulation and paleokarstification stage and middle-late Yenshanian metallogenic stage.

Studies show that the metallogenic elements were derived predominantly from pre-Cambrian basement rock and partly from ore-localizing beds and magma. These ore-forming materials were first released from the basement and

the strata as a result of deep circulation of thermal brine and paleokarstification, and then formed mineralization solution, which migrated along faults and eventually precipitated in favorable structures and carbonate beds. It is therefore conceivable that the metallogenic activities occurred later than the formation of ore-localizing strata and the ore deposit was finally produced in the middle-late Yenshanian period. Consequently the ore deposit can be considered to be of crust-derived epigenetic stratabound type.

## 消息报导

### 国际锡矿地质讨论会在广西南宁隆重召开

The International Symposium on Geology of Tin Deposits  
Solemnly Held in Nanning, Guangxi Zhuang Autonomous  
Region in October 1984

以交流和讨论锡矿地质、锡矿资源勘查经验为主旨的国际锡矿地质讨论会，于1984年10月26日至10月30日在广西壮族自治区南宁市召开。

来自亚太经社会地区 and 世界五大洲的18个国家和地区的51位代表，以及国内的共120多位从事锡矿研究的专家、教授、学者出席了这次讨论会。

这次国际锡矿地质讨论会是由我国地质矿产部与联合国亚洲及太平洋地区经济社会委员会联合召开的，由中国地质科学院与亚太经社会区域矿产资源开发中心负责组办的。

会议分两个阶段进行。第一阶段是10月26日至30日的为期5天的讨论会，第二阶段是10月30日至11月5日赴广西南丹县大厂锡矿的现场地质考察，前后共计11天。

会前，国际锡矿地质讨论会组织委员会共收到240多篇有关锡矿的区域成矿规律、矿床类型、成矿模式、岩石、矿物、地球化学，以及锡矿的物化探找矿和勘探方法等方面的论文。经过认真评选，共有60篇论文在大会上进行了宣讲，其中中国专家、学者撰写的有28篇。

经过11天的紧张而又愉快的学术交流，中外专家、学者普遍感到收获很大，深表满意。概括起来有以下五个方面：

1. 讨论会上所宣读的论文，涉及的学科领域广泛，地域广阔，大多数论文水平都很高。通过论文的宣读和讨论，与会的国内外代表都得到了很大的启示和收获。

2. 国内外代表普遍认为，像大厂锡矿这样规模大、矿化与地质现象丰富的锡矿田，目前在世界上还是罕见的。进行这样一次中外同行学者一起现场考察、讨论交流，使所有与会者都开阔了视野，增加了对比研究的内容，深化了对锡矿形成、分布等条件的认识，开阔了找矿的思路。

3. 除大会交流和现场地质考察外，会议还组织了一系列规模不等的专题讨论。如“斑岩锡矿床”、“砂锡矿的形成条件、分布规律及找矿方法”和“微细粒锡矿的选矿问题”等。这些座谈讨论对从事有关学科和工作领域的锡矿地质工作者来讲，无论在充实提高其学术水平上，还是在推动所从事的锡矿地质勘查工作方

(下接第53页)