

泗顶铅锌矿田地下水成矿模式

张 术 根

(中南工业大学地质系)

内容提要:泗顶矿田的铅锌硫化物矿床以碳酸盐岩为主岩,成矿与岩浆活动和变质作用无关。目前一般认为属于沉积改造型层控矿床。然而许多宏观和微观地质事实都说明该矿田的铅锌硫化物矿化是两个不同性质的地下水含水系统的含矿地下水沿印支期断裂破碎带排泄混合成矿的产物。作者认为属于地下水再造矿床。以该矿田的成矿物质来源、成矿作用方式、地层、构造、水文地质、地球化学等综合控矿因素和矿化就位机制为重点,建立了其地下水成矿模式。

关键词:铅锌矿田 地下水成矿模式 泗顶

广西融安县境内的泗顶铅锌矿田以碳酸盐岩为容矿岩石,成矿与岩浆活动和变质作用无关,是我国同类矿田的典型代表之一。该矿田的铅锌硫化物矿床目前一般认为属于沉积改造型层控矿床⁽¹⁾。经多方面研究,笔者认为属于地下水再造矿床。

一、矿田地质概况

矿田出露地层简单。基底为寒武系清溪组(ϵq)砂页岩。盖层为中、上泥盆统碳酸盐岩,与寒武系呈角度不整合接触。中泥盆统东岗岭组(D_2d)为碳酸盐岩夹少量石英砂岩,系矿田南部之主要容矿层位。上泥盆统融县组(D_3r)为碳酸盐岩,是矿田北部的容矿层位。

本矿田的构造是多期构造活动的产物。加里东期在基底形成一系列平行排列的北东向紧闭线状褶皱和压性断裂。印支期构造不但叠加在基底构造上使其复活改造,而且在盖层中形成多组高角度压扭性、张扭性断裂,其规模较大者多继承了基底断裂,是矿田的主要控矿构造。此外,燕山期和喜马拉雅期也发育小规模的断裂构造,但它们都是成矿后构造。

白云岩化是与矿化有关的主要蚀变。它沿矿体及其边部分布,大体上自矿体内部向边部、自深部向浅部蚀变强度减弱、范围减小。此外,沿断裂构造也有不同程度的白云岩化。

二、地下水成矿的主要证据

1. 矿体形态产状和矿化分布

在平面上,矿化局限在泗顶—古丹近南北向的断裂破碎带上,呈狭长带状展布。矿化富集地段即是构造破碎强烈地段。该断裂带由一系列NNW向和NNE向断裂及纵贯全区的南北向断裂交错而成(图1)。

在剖面上,矿化局限在寒武系和泥盆系之间不整合面附近的碳酸盐岩中,现今标高200—400m区间,400m标高以上无矿化现象。不整合面上的砂砾岩和不整合面下的浅变质砂页岩

仅局部有微弱的矿化。

在一个矿区中，以一定标高为界（泗顶 290—300m，古丹 350—360m）形成两类矿体（图2a、b），其上为陡倾斜脉状、巢状矿体，其下为似层状、透镜状矿体。即使同一矿体，跨越此标高界线也发生形态、产状和矿化特征的显著变化。

2. 岩溶洞穴充填成矿现象

岩溶洞穴充填成矿现象是突出的成矿特征之一。

(1) 含矿岩溶洞穴特征

矿体与围岩界线清楚。矿体边部的围岩退色，为结构松散的糖粒状白云岩，在白云石隙间可见粘土质胶结物。

在洞穴内可见大小悬殊的坍塌角砾，含少量浸染状硫化物，其间为块状方解石和硫化物充填胶结，常见由不同颜色的闪锌矿和方铅矿组成的水平韵律条带。洞穴底部有时可见薄层

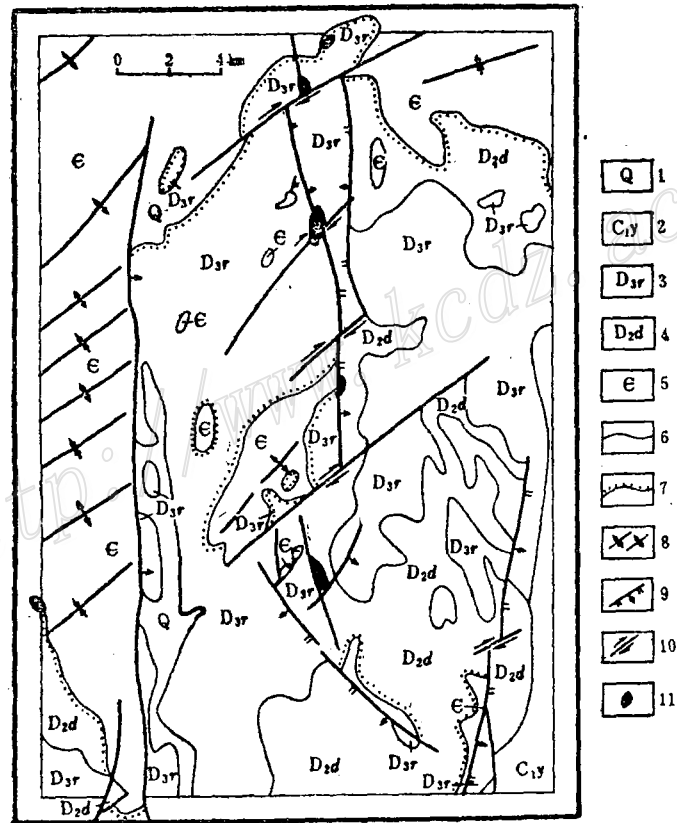


图 1 泗顶铅锌矿田地质略图

(据广西冶勘270队)

- 1—冲积层； 2—下石炭统岩关组； 3—上泥盆统融县组； 4—中泥盆统东岗岭组； 5—寒武系； 6—地层界线；
- 7—地层不整合面； 8—褶皱； 9—正断层； 10—平移断层； 11—铅锌矿床(点)

Fig. 1. Sketch geological map of the Siding lead-zinc orefield.

- 1—Alluvial bed; 2—Lower Carboniferous Yanguan Formation; 3—Upper Devonian Rongxian Formation; 4—Middle Devonian Donggangling Formation; 5—Cambrian; 6—Boundary of strata; 7—Unconformity; 8—Fold; 9—Normal fault; 10—Strike-slip fault; 11—Lead-zinc deposit(occurrence).

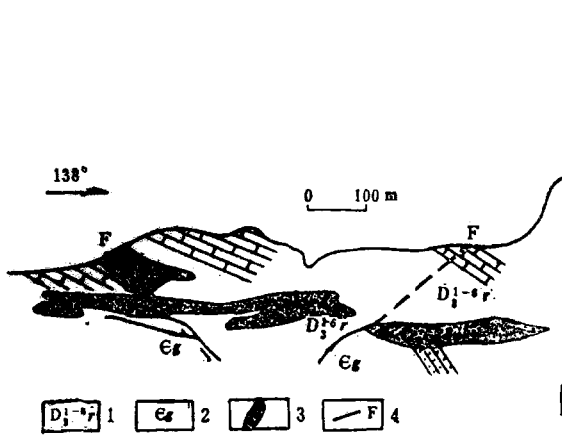


图 2a 泗顶矿床纵剖面图
 1—上泥盆统融县组；2—寒武系清溪组（图中Eg应为Eg）；3—铅锌矿体；4—控矿断裂
 Fig.2a. Longitudinal section of the Sidang ore deposit.
 1—Upper Devonian Rongxian Formation; 2—Cambrian Qingxi Formation; 3—Lead-zinc orebody; 4—Ore-controlling fracture.

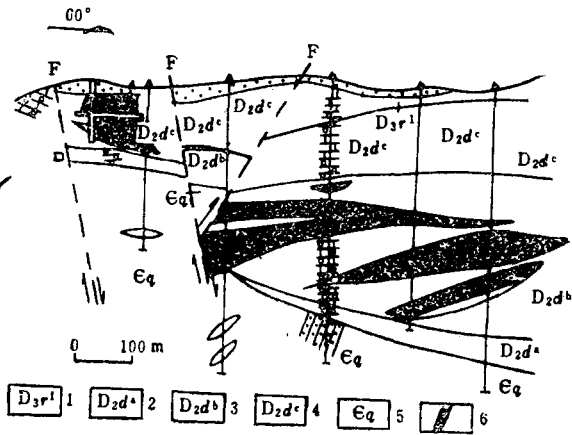


图 2b 古丹矿床X剖面图
 1—上泥盆统融县组；2—东岗岭组下段；3—东岗岭组中段；4—东岗岭组上段；5—寒武系清溪组；6—铅锌矿体
 Fig.2b. Cross section of the Gudun ore deposit
 1—Upper Devonian Rongxian Formation; 2—Lower Member of Donggangling Formation; 3—Middle Member of Donggangling Formation; 4—Upper Member of Donggangling Formation; 5—Cambrian Qingxi Formation; 6—Lead-zinc orebody.

泥质条带；底部和边部有皮壳状闪锌矿，顶部出现钟乳状闪锌矿。

(2) 含矿岩溶洞穴的形态、产状和分布

洞穴一般规模较小，洞穴底部常较平坦，横向延伸范围常大于纵向延伸范围，洞穴之间常由受到岩溶改造的裂隙联系起来（图3）。

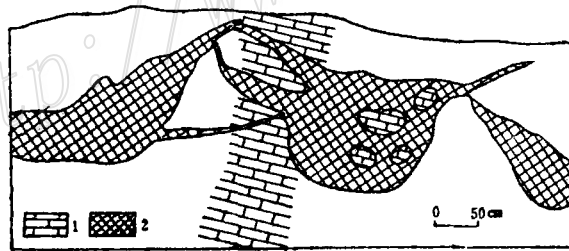


图 3 古丹矿床宝山矿体露天采场岩溶洞穴充填型矿化特征
 示含矿岩溶洞穴形态及洞穴间的相互联系情况（野外素描）
 1—碳酸盐岩；2—含矿岩溶洞穴

Fig.3. Sketch of filling-type mineralization in karst caves of open-pit of Baoshan orebody, Gudun ore deposit, showing shapes of ore-bearing karst caves and interconnection between caves.
 1—Carbonate rocks; 2—Ore-bearing karst cave.

含矿岩溶洞穴都沿断裂及其交汇处发育，岩石破碎越强烈，洞穴越发育，并具有一定的垂向分布下限：泗顶矿区发育于290m以上，古丹矿区发育于350m以上。据岩溶洞穴的形态、产状和分布规律，推测它们是地下水水平循环带的岩溶产物。

3. 两类矿体的特征

陡倾斜脉状、巢状矿体以岩溶洞穴和构造裂隙充填为主要产出形式, 矿体与围岩呈突变关系, 矿体内部矿化极不均匀, 平均品位较高, 典型的矿石构造有块状、不规则脉状、网脉状、变胶状、钟乳状、皮壳状、水平韵律条带状构造等。似层状、透镜状矿体以沿岩石的层间裂隙和各种微细裂隙及孔隙充填交代方式产出。矿化程度以控矿主断裂为中心向周围逐渐减弱, 并与围岩呈渐变关系, 矿石平均品位较低。典型的矿石构造有不规则脉状、细脉状、斑点状、团块状和浸染状构造等。

4. 两类矿体的矿物成分

主要金属矿物为闪锌矿和方铅矿。在陡倾斜脉状、巢状矿体中基本上没有黄铁矿, 且随矿化标高增高闪锌矿的相对含量也增高。在似层状、透镜状矿体中出现大量黄铁矿, 它们呈细脉状、团块状、浸染状分布于矿体及其围岩中。黄铁矿多具显微球粒状和五角十二面体晶形。微量金属矿物有车轮矿、黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿、硫砷铜矿、铜蓝、自然铋等。

5. 稳定同位素地球化学特征

(1) 铅同位素地球化学特征

矿田23个方铅矿样品的铅同位素组成数据经笔者用K~均值聚类分析, 分成差别明显的两类, 二者的比例分别为11/23和12/23, 一类以模式年龄为410—620Ma的样品为代表, 一类以模式年龄为170—260Ma的样品为代表。进一步用线性混合模型进行源区数目判别, 结果表明具有显著的二源线性混合特征^[2]。

(2) 硫化物的硫同位素地球化学特征

硫化物的硫同位素组成总的变化范围大, $\delta^{34}\text{S} = -26.2 \sim +8.3\%$, 但具有两个集中范围, 其一以早期黄铁矿为代表, $\delta^{34}\text{S} = -17.64 \sim -14.03\%$, 另一以闪锌矿、方铅矿和与之同期的黄铁矿为代表, $\delta^{34}\text{S} = -3.0 \sim +6.0\%$ 。两类矿体中硫化物的硫同位素组成有一定差别(表1)。似层状、透镜状矿体中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围大且多偏负值, 陡倾斜脉状、巢状矿体中的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围小且多偏正值。硫同位素组成随矿化标高而规律地变化(表2), 同一矿体, 随矿化标高增大, $\delta^{34}\text{S}$ 逐渐增大, 同一矿区, 自似层状矿体的底部至陡倾斜脉状矿体的顶部 $\delta^{34}\text{S}$ 逐渐递增。

根据共生的闪锌矿-方铅矿对的硫同位素组成, 求得成矿流体的总硫组成为 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}} =$

表1 各类矿体硫化物的硫同位素组成特征^①

Table 1. Sulfur isotope composition of sulfides from various types of orebodies

矿床	矿物 矿体	$\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} (\%)$		$\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} (\%)$		$\delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} (\%)$	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值
泗顶矿床	V号	-17.18—0.42(6)	-3.19	0.0—3.86(5)	2.27	-4.4—1.2(3)	-1.8
	VII号	-17.64—0.29(15)	-12.55	-9.4—5.46(2)	-0.40	-17.4—2.3(15)	-1.95
古丹矿床	宝山 ^②	-26.1—0.9(3)	-14.03	+6.0—8.3(3)	6.93	3.6—4.9(2)	4.25
	板栗坡	-26.2(1)	-26.2	-12.3—-6.6(2)	-9.45	-4.6(1)	-4.6

注 ①据泗顶铅锌矿地测科资料整理。括号内为样品数(宜昌所和贵阳所测定)

②宝山矿体为巢状矿体; 板栗坡矿体为似层状矿体

表 2 泗顶矿床硫化物硫同位素组成与矿化标高的关系

Table 2. Relationship between sulfur isotope composition of sulfides in the Siding ore deposit and elevation of mineralization

矿体	标高(m)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{方解石}}$ (‰)	备注
V 号	300	2.58(5)	2.00(2)	括号内为样品数, 下同。陡倾斜脉状
	290	3.02(2)	0.43(2)	
	280	1.06(2)	—	
IV 号	290	2.99(5)	0.18(1)	似层状
	280	1.52(6)	—	
VI 号	260	3.30(1)	-1.20(2)	似层状
	250	2.33(11)	-1.59(15)	
	230	-4.51(4)	-0.32(1)	

0.54, 似层状、透镜状矿体地段铅锌成矿流体的水溶含硫物种主要为 H_2S , 陡倾斜脉状、巢状矿体地段主要为 HS^- , 部分为 SO_4^{2-} 。前类矿体成矿温度范围大(81°C — 227°C)且低(151°C), 后类矿体成矿温度范围小(181°C — 240°C)且高(215°C)⁽²⁾。

(3) 氢氧同位素组成

据贵阳地化所资料⁽¹⁾, 泗顶矿床铅锌成矿期矿物(闪锌矿、白云石、方解石)流体包裹体水的 $\delta\text{D} = -57$ — -82 ‰, $\delta^{18}\text{O} = 0.9$ — -11.5 ‰, 特别是其中一个闪锌矿样品 $\delta\text{D} = -82$ ‰, $\delta^{18}\text{O} = -11.5$ ‰, 完全落在 Craig 大气降水线 $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ ‰上, 有理由认为铅锌成矿流体是大气降水演化而成的产物。

6. 矿物流体包裹体成分

笔者选择 8 个自形程度较高的闪锌矿样品分析流体包裹体成分, 结果如表 3, 表 4。

(1) 液相组分: 可以区分出差别明显的两种类型, 其一为 Na-Ca-Cl 型, 其二被分析的阴离子 F^- 、 Cl^- 含量极低, 无法满足流体中阳离子的电荷平衡, 结合水文地球化学分析, 应为 Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 型。

(2) 气相组分: 随矿体类型和矿化标高呈规律性变化。陡倾斜脉状矿体比似层状矿体

表 3 泗顶矿田闪锌矿流体包裹体液相成分

Table 3. Liquid phase composition of fluid inclusions in sphalerite from the Siding orefield

组分	序号	序号								备注
		1	2	3	4	5	6	7	8	
液相组分摩尔百分数	K	0.62	2.87	0.17	1.48	5.54	0.89	0.85	23.69	中南矿冶学院地质系 丁碧英、杨燕征 (1984, 11)
	Na	3.95	6.16	1.84	2.95	50.92	35.90	35.11	41.72	
	Ca	39.60	29.86	33.14	33.76	6.63	25.10	10.78	0	
	Mg	46.73	54.10	61.22	56.59	0	0.92	1.29	2.79	
	F	0.16	0.16	0.10	0.12	0.73	0.17	0.36	0.89	
	Cl	8.94	6.85	3.53	5.09	36.18	37.92	51.60	30.90	

表4 泗顶矿田闪锌矿流体包裹体气相成分
Table 4. Gas phase composition of fluid inclusions in sphalerite
from the Siding orefield

矿床	矿体类型	相对标高 (m)	气相成分 ($\mu\text{g/g}$)					备注
			H ₂ O	CO ₂	H ₂	N ₂	CO	
泗顶矿床	似层状 矿体	250	740	21.8	0.009	0.34	2.90	分析单位: 中南 矿冶学院中心分 析室 分析人: 培刁良 日期: 1984, 11
		270	450	3.4	0.004	0.27	0.47	
		均值	595	12.6	0.007	0.31	1.69	
	陡倾斜脉 状矿体	300	300	91.7	0.028	0.34	1.50	
		345	975	283.4	0.025	0.82	1.20	
		均值	638	187.6	0.027	0.58	1.35	
古丹矿床	似层状 矿体	315	1200	40.0	0.006	0.72	2.60	
		350	600	22.9	0.0055	0.89	3.10	
		均值	900	31.5	0.006	0.81	2.85	
	巢状 矿体	400	550	4.8	0.005	0.73	0.77	
		420	700	5.3	0.003	1.20	0.82	
		均值	625	5.05	0.004	0.97	0.8	

表5 泗顶矿田各时代地层的成矿物质含量
Table 5. Contents of metallogenic materials in strata of various ages
within the Siding orefield

岩性段	ϵ_q	D ₂ d ^a	D ₂ d ^b	D ₂ d ^c	D ₃ r ¹	D ₃ r ²	D ₃ r ³	D ₃ r ⁴	D ₃ r ⁵	D ₃ r ⁶	
元素	Pb	12	55	41	42	46	42	44	37	41	24
	Zn	66	55	26	38	30	33	31	30	31	26
(ppm)	S					331	162	186		483	

资料来源: 硫为笔者取样、中南矿冶学院中心分室分析 刁培良 1984, 10; Pb, Zn 据杨楚雄(1984)等; 广西泗顶铅锌矿床成矿机理分析(未刊)

气体总含量更高, 前者自下而上H₂O、CO₂、N₂增高, CO降低, 后者自上而下, H₂O、CO₂、H₂、N₂都增高。

矿物流体包裹体成分分析结果表明铅锌成矿流体具有两种成分类型并且具有明显的纵向分带。

7. 成矿物质来源

泗顶矿田未受矿化影响的各时代地层的成矿物质组分含量高于同类岩石的平均含量(表5), 矿田内不存在任何可提供成矿物质的其他地质体。

根据以上各项分析, 笔者认为成矿物质和成矿流体均由基底浅变质砂页岩和盖层碳酸盐岩中两个地下水含水系统提供, 两类矿体的分界线即是铅锌成矿期间潜水面的位置所在。

三、成矿水文地球化学条件分析

区域地质和矿田地质研究表明,矿田恰处泥盆纪沉积海盆边缘。矿田两侧为古陆,东侧古陆斜坡自中泥盆世接受海相沉积,至早石炭世海退沦为陆地,此后接受风化剥蚀和地下水改造。矿床即沿古陆边缘隆起与拗陷交替部位的切割基底和盖层的断裂破碎带分布。基底浅变质砂页岩和盖层碳酸盐岩内两个地下水含水系统的水文地质剖面特征可用印支运动末期的水文地质结构剖面概括(图4)。

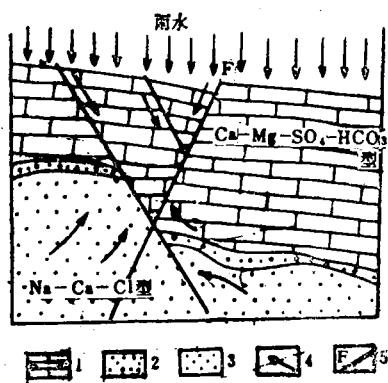


图4 印支末期水文地质结构剖面示意图

1—碳酸盐岩含水系统; 2—泥盆系底砾岩含水层; 3—砂页岩含水系统; 4—地下水循环方向; 5—印支期断裂

Fig.4. Sketch section showing hydrogeological structure at the end of Indo-Sinian period.

1—Carbonate water-bearing system; 2—Devonian basal conglomerate water-bearing bed; 3—Sandy shale water-bearing system; 4—Circulation direction of groundwater; 5—Indo-Sinian fracture.

矿田及其附近的基底浅变质砂页岩处在该含水系统的倾没端,较为远离大气降水补给区,在地下水分带系列中相当于含水隆起带倾没端的深层承压水,其地下水类型为Na-Ca-Cl型。盖层碳酸盐岩处在该含水系统的边缘,紧邻大气降水补给区,在地下水分带系列中相当于含水盆地的中、上部带水,其地下水类型应属于Ca-Mg-HCO₃-SO₄型^[3,4]。印支运动前,两含水系统的地下水分别在其内部循环演化。印支运动形成的切割两大含水系统的断裂破碎带,打破了它们的封闭状态,使它们在有利的构造部位汇合发生纵向对流循环。由于化学成分和物理化学条件急剧变化,在潜水面附近较为还原的环境中发生硫化物矿化。

四、成矿物质迁移和沉积方式

在Na-Ca-Cl型和Ca-Mg-HCO₃-SO₄型地下水在各含水系统循环演化,不断淋滤、溶解和吸取成矿物质,可以使成矿元素迁移的组分有Cl⁻、HS⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻、OH⁻,其中HCO₃⁻、SO₄²⁻、OH⁻、HS⁻的迁移能力较弱,故赋存于碳酸盐岩中的Ca-Mg-HCO₃-SO₄型地下水中成矿金属组分主要呈HCO₃⁻、SO₄²⁻、HS⁻络合物短距离迁移,尤其是靠近地下水还原带,HS⁻络合物成为该类地下水中的金属组分的主要迁移剂。Cl对金属组分的迁移能力很强,因此,除羟基络合物外,浅变质砂页岩中的成矿金属元素呈Cl络合物活化迁移。

印支运动形成的切割两含水系统的断裂破碎带打破了它们内部的化学平衡,这两种含矿流体沿这些有利的构造部位汇合,各种组分浓度均被释释,并引起一系列的物理化学条件变化。例如含矿Na-Ca-Cl型地下水上升与Ca-Mg-HCO₃-SO₄型含矿地下水汇合后进入硫化

物还原障与还原态硫反应；汇合后的矿液进入岩溶洞穴和构造裂隙等开阔空间减压沸腾引起硫化物急剧沉淀；潜水面以下生物硫化作用形成的黄铁矿被溶解交代促使铅锌硫化物沉积；汇合后的矿液的Eh-pH条件急剧变化，所有这些都可能造成硫化物沉积成矿。

五、矿田铅锌硫化物成矿模式

根据以上各方面的分析和讨论，特别是各种地下水成矿的证据分析，笔者将矿田的铅锌硫化物成矿作用用以下概念模式概括如下（图5）。

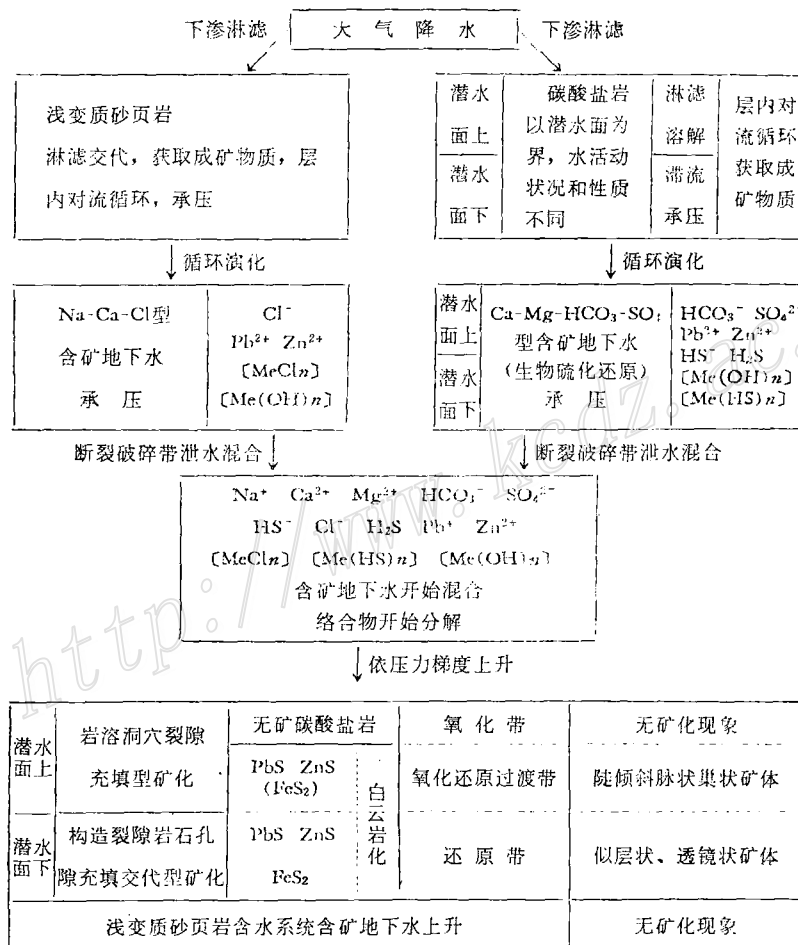


图5 酒顶矿田铅锌硫化物成矿概念模式

Fig.5. Metallogenic conceptual model for lead-zinc sulfides in the Siding orefield.

在我国，特别是南方，以碳酸盐岩为主岩且矿化与岩浆活动和变质作用没有明显联系的铅锌硫化物矿床分布广泛。近年来，随着层控矿床理论的深入研究和广泛应用，它们几乎都被认为是沉积改造型层控矿床，普遍强调容矿岩系沉积环境和沉积相的控矿作用，沿容矿岩系的有利层位和特定的沉积相找矿逐渐成为这类矿床找矿的基本思路。本文在较为系统地研

究了矿田多种宏观、微观地质成矿信息的基础上,以成矿物质来源、成矿作用方式、综合控矿因素和矿化就位机制为重点,建立了泗顶矿田地下水再造成矿模式、该模式试图从水文地质-地球化学条件,地层条件和构造条件综合控矿为这类矿床的找矿提供新的思路,不足之处,敬望同行学长批评指正。

参 考 文 献

- 〔1〕 涂光炽主编 1984 《中国层控矿床地球化学》 第1卷 科学出版社
- 〔2〕 张术根 1988 泗顶~古丹铅锌矿田稳定同位素地球化学特征 中南矿冶学院学报 专总第13期
- 〔3〕 李学礼 1982 《水文地球化学》 原子能出版社
- 〔4〕 K.E.契比叶娃 1984 《水文地球化学》 地质出版社

A GROUNDWATER METALLOGENIC MODEL FOR THE SIDING LEAD-ZINC OREFIELD

Zhang Shugen

(Department of Geology, Central South University of Technology, Changsha, Hunan)

Abstract

The lead-zinc sulfide deposits in the Siding orefield are hosted by Devonian carbonate rocks, and their ore-forming process had nothing to do with magmatic activities and metamorphism. At present, it is generally held that they are stratabound deposits of sedimentary transformation type. Nevertheless, lots of macroscopic and microscopic geological phenomena all indicate that the lead-zinc sulfide deposits in this orefield were formed by mixed mineralization of ore-bearing groundwater in two different ground-water-containing systems along the Indo-Sinian fractural belt. The author considers that the key factors for their formation are 1) two groundwater-containing systems with different natures, 2) abundant ore-forming materials in these systems, 3) mixing and transporting channels of ore-bearing groundwater in these systems and 4) the water table as the oxidation-reduction boundary of groundwater in the process of mineralization. On the basis of these considerations, the author has established a generalized model for this type of ore deposits.