

栖霞山铅锌矿床中汞的原生晕及存在相态研究

胡 振 清

(华东有色金属地质勘探公司八一四队)

汞,作为地球化学找矿中的通用探途元素,已逐步被人们所认识。目前,国内外对汞的次生晕、原生晕在找矿中的前景进行了不同程度的研究。本文通过栖霞山铅锌矿床汞在矿体及其围岩中的原生分散晕的特征和分布规律,矿床晕、矿体晕的特征及二者之间的关系,重点研究了矿体和围岩中汞的存在相态,以及不同相态汞的比值在不同高程中的分布规律等,并以此来判断矿体的剥蚀程度,为汞的原生分散晕在寻找盲矿方面作了有益的探讨。

地 质 概 况

矿区位于淮阳山字型构造宁镇反射弧西端转折部

位。印支运动使本区古生代地层发生褶皱断裂,并构成倒转紧闭复背斜的基底。尔后,侏罗纪地层不整合覆盖于基底之上。

矿区出露地层从老到新为志留系、泥盆系、石炭系、二叠系和侏罗系,其岩性及分布见图1。矿体产于下构造层石炭—二叠纪碳酸盐岩地层的断裂中及上部断裂不整合面上。矿体呈似层状、透镜状及脉状。矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、菱锰矿及少量黄铜矿、白铁矿和黝铜矿。脉石矿物以石英、方解石为主。该矿床为一大型铅锌矿。

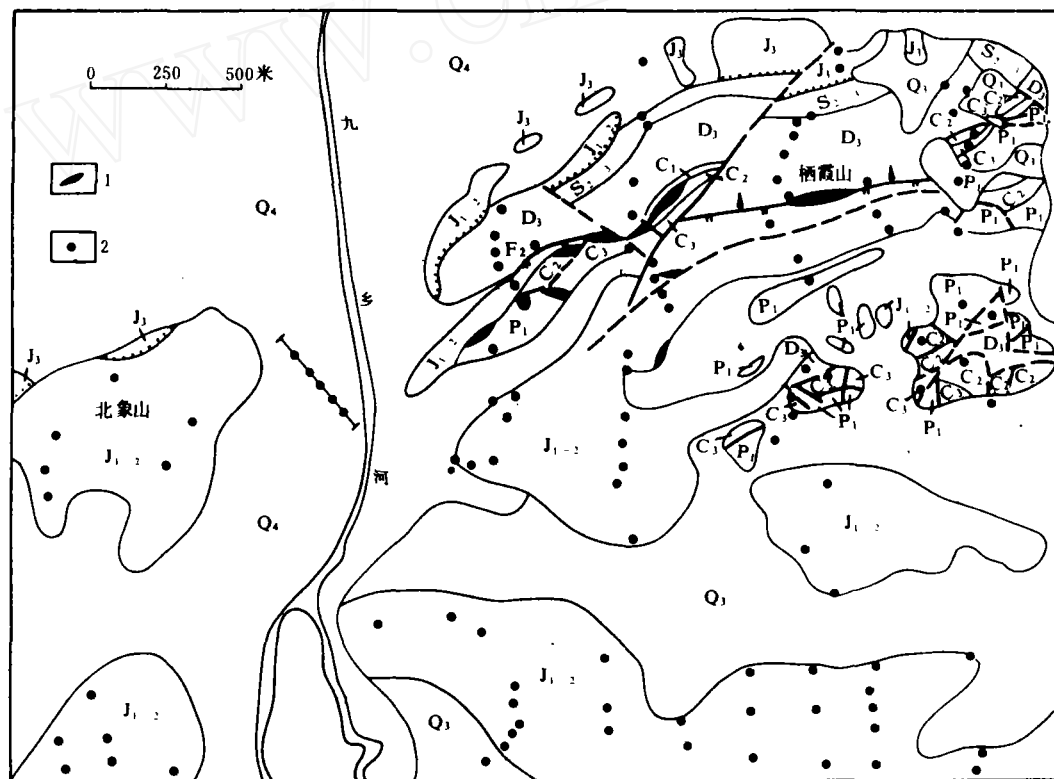


图1 栖霞山铅锌矿区地质图

Q₄—全新统; Q₃—上更新统; J₃—安山质角砾凝灰岩; J₁₋₂—象山群砂页岩; P₁—栖霞组灰岩; C₃—船山组灰岩;
C₂—黄龙组白云质灰岩; C₁—砂页岩夹灰岩; D₃—五通组砂页岩; S₂₋₃—坟头组砂页岩; 1—矿体; 2—原生晕取样位置

汞的原生晕异常特征

(一) 矿床晕 在矿区内, 通过路线测量, 采集基岩和少量钻孔岩心样品, 进行了热释法测汞, 各时代地层(包括少量矿石样)汞含量范围是7~4500ppb, 其平均值如表1所示。

区域、矿区各地层汞含量平均值(ppb)对照表 表1

地层代号	区域汞平均值	区域样品数	矿区汞平均值	矿区样品数	A矿体勘探剖面汞平均值	A矿体勘探剖面样品数
J ₃	41	7	49	3	—	—
J ₁₋₂	19	27	71	58	1583	130
P ₁	34	17	171	13	1552	10
C ₃	21	8	68	5	3733	3
C ₂	17	11	116	4	247	15
C ₁	7	12	—	—	494	14
D ₃	10	26	165	17	921	26
S ₁₋₃	12	21	308	3	—	—

从表1可以看出, 矿区内各时代地层中汞含量平均值均大于区域同时代地层的丰度值; 矿区内汞的原生晕具明显的水平分带特征(图2)。内带Hg > 200 ppb、中带100~199 ppb、外带Hg 50~99 ppb。

而且内带是沿已知矿体和控矿断层F₂展布。见矿钻孔大部分分布在内带, 少部分在中带。以含量50ppb为外带所圈定的汞异常, 已控制范围长约4000米, 宽约800米。汞的高含量出现在矿体露头部位或已知盲矿体的前缘上方。向两侧(即垂直矿带方向)汞浓度逐步降低, 一般离开矿带500米左右, 汞浓度便降低为背景含量(15~20ppb)。

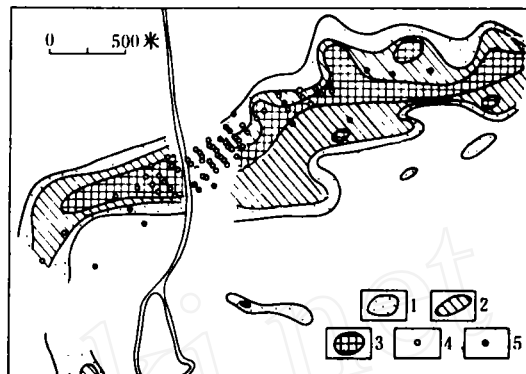


图2 栖霞山铅锌矿汞的原生晕分带

1—Hg 50~99 ppb; 2—Hg 100~199 ppb; 3—Hg > 200 ppb; 4—见矿钻孔; 5—未见矿钻孔

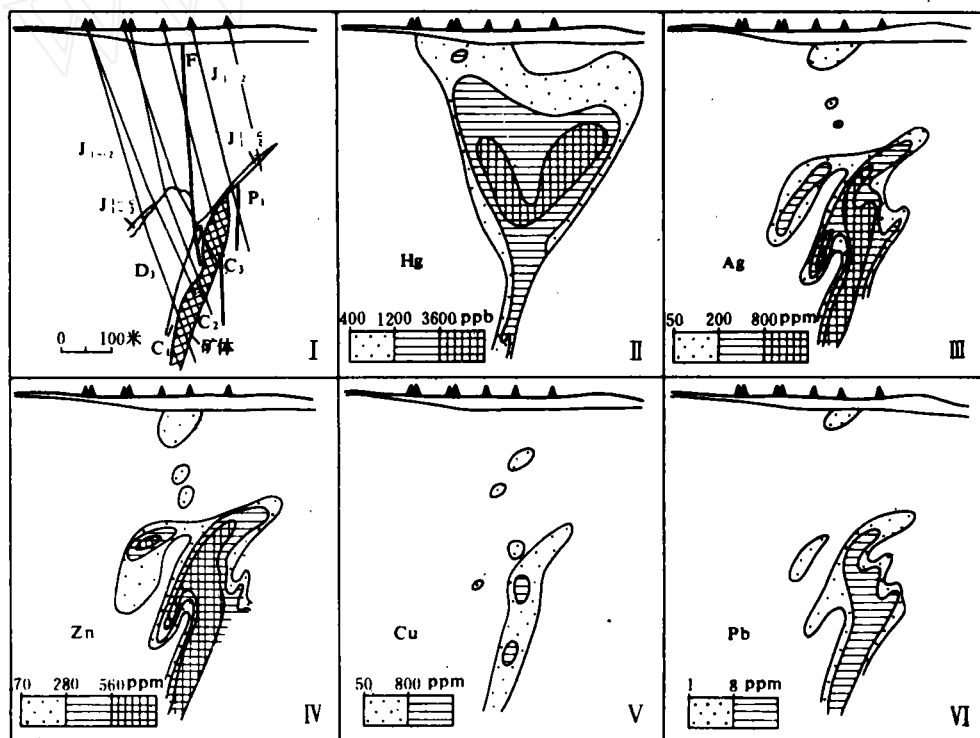


图3 栖霞山铅锌矿40线原生晕剖面图

I—地质剖面; II—Hg的原生晕; III—Pb的原生晕; IV—Zn的原生晕; V—Cu的原生晕; VI—Ag的原生晕

(二) 矿体晕 通过A矿体40线勘探剖面的钻孔,系统采集岩(矿)心样品,以间距5~10米连续拣块取样,用热释法测定全汞量,光谱半定量分析Pb, Zn, Cu, Ag等。各元素原生晕剖面图见图3。由图3可见,汞晕的发育范围比矿体大得多,比成矿元素Pb, Zn, Cu, Ag晕的范围也大得多。矿体晕是以矿区异常为背景的局部高浓度晕,其外带含量大于矿区异常内带含量。汞浓度变化有明显的垂向分带:外带Hg 400~<1200ppb, 中带Hg 1200~<3600ppb, 内带>3600ppb。向矿体两侧具横向(水平)分带,其汞浓度降低速度较垂向上的快,当达到一定距离时

出现两个浓度梯度带,并分别与矿体尾部的上方和矿体前缘方向相对应。值得注意的是,汞晕产出位置较高,汞的高浓度内带含量范围并非与矿体的空间位置一致,而是位于矿体头部及其毗邻的上盘和前缘围岩中。矿体中部和尾部为汞的中带浓度,且往矿体尾部方向逐步收敛。上盘晕由近矿体头部的上盘连续延伸到地表(约300米);前缘晕(自矿体头部至前缘围岩方向)有工程控制的约130米;下盘晕(向矿体下盘方向)汞浓度迅速降低,离开矿体20米左右便降为矿区的背景含量(20ppb),且缺失汞的外浓度带。

矿体不同部位样品中汞含量分布特征见表2。

栖霞山铅锌矿40线勘探剖面汞量分布统计

表2

采样部位		含汞量范围(ppb)及对应的样品件数							共计样品件数
		<50	50~99	100~199	200~399	400~799	800~1599	>1600	
围岩	上盘、前缘	1	3	11	28	35	26	94	198
	下盘*	5	3	4	-	-	-	-	12
矿体	头部	-	-	-	-	2	5	22	29
	中部	-	-	-	1	1	2	3	7
	尾部	-	-	-	-	7	3	1	11

* 下盘指矿体中部和尾部下盘,下同。

1. 矿体上盘围岩和前缘围岩:汞含量范围40~4500ppb,平均1439ppb,比矿区异常内带浓度(>200ppb)大一个数量级,有98%的样品汞含量>100ppb,汞量<100ppb的样品均分布在矿体尾部上盘围岩中。值得指出的是,在上盘和前缘围岩中,汞晕的内、中、外带都很发育,且形成一个较大范围汞的高浓集区,并与矿体头部汞的高浓集区相连接。

2. 矿体下盘围岩:汞含量范围30~140ppb,平均79ppb,略高于矿区异常下限,比上盘和前缘围岩低1~2个数量级,且异常范围很窄。

A矿体不同标高中含汞量分布统计表 表3

矿体部位	标高(米)	样品数(件)	含汞量(ppb)	
			含量范围	平均值
头部	-350~-445	29	600~4500	2400
中部	-500~-525	7	260~3500	1230
尾部	-550~-620	11	400~1800	770

A矿体中不同矿石在不同标高的汞量(ppb)分布

表4

矿部位	标高(米)	铅 锌 矿		黄 铁 矿	
		含汞量范围	平均含汞量	含汞量范围	平均含汞量
		样品数(件)		样品数(件)	
头部	-350	600~4500	2460	1400~4500	2640
	-445	22		5	
中部	-500	260~3500	1520	260~2600	1020
	-525	3		4	
尾部	-550	520~1800	1070	400~1200	660
	-620	3		8	

3. 矿体:取各类矿石样品47件,不同标高样品汞含量范围列于表3。由表3可见,沿矿体垂向汞含量具有明显的浓度分带现象,由矿体尾部至头部汞的含

量渐增。将不同矿石类型在不同标高的汞量分布进行统计(表4),同样表现出汞浓度的垂向分带规律,说明汞浓度的这种垂向分带规律,可能是成矿温度的垂向变化及汞蒸气向上迁移再分配、浓集所致,并非不同矿石类型的空间分布差异所引起。

(三) 汞与铅、锌、铜、锰等元素的关系 通过相关系数的计算(表5),矿体中的Hg与Pb呈明显的正相关,与Cu, Zn的相关性次之,与Mn呈负相关。在围岩中, Hg与Pb, Zn, Cu, Mn呈不显相关性。这种现象可能说明这样一个过程:即矿体中的Hg和成矿元素一样,是由成矿热液带入,但由于Hg的不断迁移和转化,使矿体中的Hg与成矿元素的相关性减弱。而围岩中的Hg,多是由后期迁移、转化所致,故与成矿元素不显相关性。

矿体、围岩中的Hg与Pb, Zn, Cu, Mn的相关系数 表5

元 素	Pb	Zn	Cu	Mn
矿体中的 Hg	0.489	0.210	0.355	-0.340
围岩中的 Hg	0.033	0.105	0.146	0.146

另外,从ZK401和ZK404钻孔原生晕剖面Hg, Pb, Zn, Cu的分布(图4),也可看出Hg与成矿元素的关系。

ZK401孔:穿过矿体上盘及头部,见矿厚度70多米。取样56件,含Hg量范围500~4500ppb,其中Hg 1600~4500ppb的含量连续分布在矿体上盘围岩,厚达300米,形成一个高强异常区。矿体中、下部含汞量有下降的趋势。而Pb, Zn, Cu元素只有在矿体内和邻近上盘围岩中,出现高含量,且异常范围远不如Hg发育。

ZK404孔:穿过矿体前缘,未见铅锌矿体,仅见到约3米厚的黄铁矿。取样45件,含Hg量范围300~4500ppb,其中Hg ≥ 1600ppb的异常宽250米,且位于矿体前缘的围岩中,而Pb, Zn, Cu元素只有局部异常。

汞的存在相态

为了研究汞晕的形成机理和找矿指示意义,除测定样品中的全汞量外,还采取序列表定温热释法测定了样品中的不同相态汞。

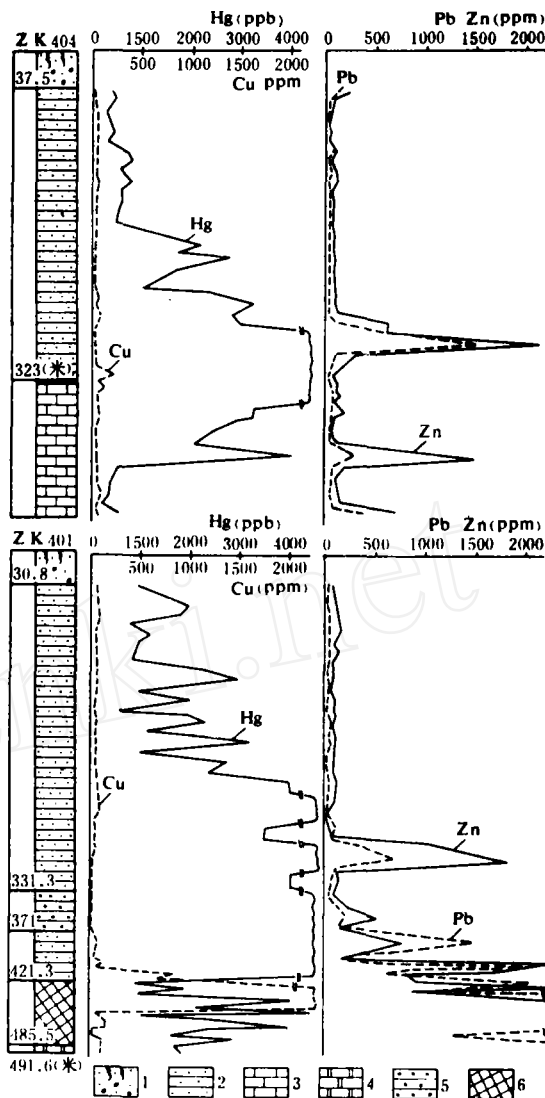


图4 ZK401、ZK404钻孔原生晕剖面图

1—异地运积层; 2—一砂页岩; 3—一灰岩; 4—一白
云质灰岩; 5—石英砂岩; 6—一矿体

(一) 不同相态汞的划分 根据剖面中若干岩(矿)石测定结果表明,岩石和矿石的汞量热释曲线、有着各自的特征规律(图5)。

属于汞异常区的岩石,其汞量热释曲线形态简单,呈单峰,峰温区在100~250°C之间,峰值与200°C(或150~200°C)相对应(图5.I~IV),峰值的大小与异常区汞浓度成正比。当岩石有矿化时,在250~800°C之间有次级汞峰出现(图5.V)。取于非汞异常区的岩石,热释汞量甚微,热释汞曲线近似一条直线。

矿石的汞量热释曲线一般呈多峰状,且多数与200°C(或150~200°C)相对应的汞量峰值下降。来自矿体头部的矿石,其峰值下降得小些(图5.VI);来自矿体中、尾部的矿石,其峰值下降得多些。而大于250°C的热释汞量峰值,相应地大量出现,其峰值一般与300、350、400、700°C等相对应(图5.VII~IX)。

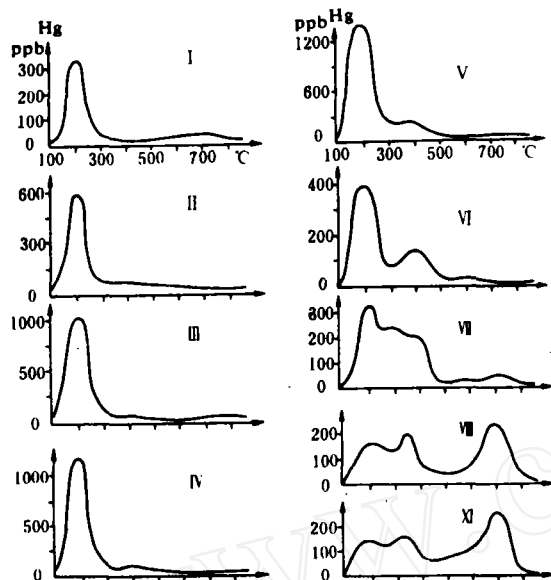


图5 ZK 401孔岩、矿石热释汞曲线

I—粗砂岩(孔深38米); II—细—粉砂岩(孔深161米); III—细砂岩(孔深241米); IV—细—粉砂岩(孔深337米); V—矿化粗砂岩(孔深410米); VI—黄铁矿(孔深423米); VII—铅锌矿(孔深458米); VIII—铅锌矿(孔深472米); IX—铅锌矿(孔深482米)

根据以上不同岩(矿)性的热释汞曲线特征,结合其可能的矿床成因及成矿温度,划分出二个峰温区,即100~250°C为第一个峰温区。>250~800°C为第二个峰温区。又据沃特林等人的热释谱曲线类比判别,第一个峰温区的汞主要为吸附态汞、氯化亚汞、氯化高汞等,作者定义为低温汞(或后生汞)。第二个峰温区的汞主要为硫化汞、氧化汞、硫酸汞、类质同象汞、晶格汞等,作者定义为高温汞(或原生汞)。

(二)不同相态汞及其比值的空间分布规律 从40线勘探剖面中挑选了100件岩(矿)石样品,进行了低温汞和高温汞的热释法测定。结果如下:

1.围岩中:在汞异常区,全汞量主要为低温汞,

高温汞仅占少量。只有矿化围岩中,高温汞量略有增加。从围岩的热释曲线上看(图5.I~V),矿体的近头部上盘和前缘围岩的样品,当热释温度为200°C时,大量的汞释放出来,形成一个热释汞量高峰,温度继续增高,只有少量高温汞释放。其热释曲线呈单峰。若是矿化围岩时,除了在200°C出现一个热释汞峰外,当温度>300°C时,出现一或几个次级汞峰,即有高温汞显示。

在空间分布上,由于围岩相对矿体的位置不同,其低温汞和高温汞的含量及其比值($Hg_{低}/Hg_{高}$)的分布也不同(表6)。

在A矿体和围岩中 $Hg_{低}/Hg_{高}$ 的比值分布 表6

	取样部位	样品数	平均比值	比值范围
围岩	矿体头部上盘和前缘围岩	37	5.47	1.42~15.93
	矿体尾部上盘	10	1.06	0.46~1.80
	矿体中尾部下盘	9	0.41	0.12~0.60
矿体	头部	27	1.19	0.17~4.30
	中部	5	0.36	0.21~0.56
	尾部	12	0.36	0.12~0.91

矿体头部上盘围岩和前缘围岩中:低温汞含量范围为356~4000ppb;高温汞含量范围117~1774ppb,均为高含量。与矿体毗邻上盘,汞的高浓度($Hg_{高}$ 3600ppb)带, $Hg_{低}/Hg_{高}$ 均为高比值,大者达15.93,当远离矿体,其比值降低,说明该部位低温汞占优势。

矿体尾部上盘围岩:低温汞和高温汞的含量都显著降低,低温汞含量范围是18~84ppb,高温汞含量范围18~80ppb。 $Hg_{低}/Hg_{高}$ 的平均值近于1,说明两种形式的汞量基本相当。

矿体中尾部下盘围岩:一般低温汞含量范围10~30ppb,高温汞含量范围18~70ppb, $Hg_{低}/Hg_{高}$ 的比值<1,说明下盘围岩以高温汞为主。

以上情况说明,低温汞量异常及 $Hg_{低}/Hg_{高}$ 的高比值,可能指示下伏盲矿体的头部位置。

2.矿体中:就整体而言,以高温汞为主,仅在矿体头部,低温汞与高温汞基本均衡。或者低温汞略大于高温汞。从热释曲线特征来看(图5),其形态较围岩复杂,呈多峰状。与热释温度200°C相对应的低温汞峰明显下降,而与300、350、400、700°C等相

对应的高温汞峰值有不同程度的增加。矿体不同部位 $Hg_{\text{低}}/Hg_{\text{高}}$ 的比值分布特征见表 6。矿体头部：低温汞含量范围 220~2170ppb，高温汞含量范围 230~2020ppb， $汞_{\text{低}}/汞_{\text{高}}$ 其值由矿体上层至下层渐降；矿体中部：低温汞含量范围 44~260ppb，高温汞为 124~1200ppb，矿体上层至下层 $汞_{\text{低}}/汞_{\text{高}}$ 的比值逐步降低；矿体尾部：低温汞和高温汞的含量范围分别为 56~320ppb 和 180~740ppb，自矿体上层至下层 $汞_{\text{低}}/汞_{\text{高}}$ 的值也有逐步下降的趋势。上述情况说明，高温汞的浓度高低能指示矿化强弱， $汞_{\text{低}}/汞_{\text{高}}$ 的比值对判断矿体部位有一定的指示意义。

(三) 不同相态汞与其他金属元素的关系 低温汞和高温汞与其他金属元素的关系较复杂，在矿体和围岩中其相关系数如表 7 所示。

A 矿体和围岩中不同相态汞与铅、锌、铜、锰的相关系数 表 7

		Pb	Zn	Cu	Mn
围岩	$Hg_{\text{低}}$	0.024	0.146	0.119	0.128
	$Hg_{\text{高}}$	0.102	0.068	0.148	0.120
矿体	$Hg_{\text{低}}$	0.368	-0.004	0.508	-0.639
	$Hg_{\text{高}}$	0.410	0.317	0.035	0.115

1. 围岩中：低温汞和高温汞与 Pb, Zn, Cu, Mn 都不存在相关性。推测围岩中的汞是后期汞蒸气的迁移、转化及再分配所致，而不是矿化作用直接带入。

2. 矿体中：低温汞与 Cu, Pb 有一定的正相关性，与 Mn 为负相关；高温汞与 Pb, Zn 有一定的正相关关系。由此可见，虽然高温汞由成矿热液带入，但由于汞蒸气的不断迁移和渗透，使其与成矿元素的相关性减弱。

汞原生晕的形成机理及其分散模式

(一) 形成机理 以高温形式存在的汞由成矿热液带入，在成矿过程中自深部向浅部迁移，当达到一定地球化学环境，即温度和压力降低到一定程度时，汞开始挥发，向上迁移、渗透及再分配，也就是高温汞向低温汞的转化阶段。这时在围岩中形成以低温汞为主的浓集空间，其浓集中心往往位于矿体头部上盘和前缘围岩中，产出位置较高。有的浓集中心“脱离”矿体较远，这主要取决于成矿温度。成矿温度高，浓

集中心“脱离”矿体就远，成矿温度低，浓集中心离矿体就近。这就产生了汞的原生分散晕。当然，汞的迁移并不意味着终止，只不过是早期的激烈阶段转变为后期的缓慢阶段，汞的原生分散晕继续向上转化迁移，汞蒸气直至上覆土壤和大气中。

(二) 汞的分散模式 栖霞山铅锌矿床中汞的原生分散模式见表 8，其特征是：

1. 凡是盲矿体（未受到剥蚀的），汞的原生分散晕发育范围较大，产出部位较高。其浓集中心一般位于矿体头部上盘围岩和前缘围岩中。

2. 矿体晕和矿体晕都有明显的水平分带和垂直分带，且垂向的浓度梯度变化较水平的梯度变化慢得多。

3. 矿体一般处于汞浓度的中带含量，且头部汞浓度较高， $Hg_{\text{低}}/Hg_{\text{高}}$ 的比值 > 1 ，其存在相态以低温汞为主；矿体中部和尾部汞浓度较低，一般属中外带含量， $Hg_{\text{低}}/Hg_{\text{高}}$ 比值 < 0.5 ，其存在相态以高温汞为主，且往矿体尾部方向汞异常浓度和宽度明显收敛。

栖霞山铅锌矿中汞的矿体晕模式 表 8

位置	汞浓度分带	汞的存在形式	$Hg_{\text{低}}/Hg_{\text{高}}$
围岩	内、中、外。 向上梯度变化平缓	低温汞占优势	$> 2^*$
	尾部 上盘	低温汞与高温汞相当	1 左右
	下盘	外带少许或缺失 很快降为背景值	< 0.5
矿体	头部 (内带位于顶部)	低温汞略大于高温汞	1 ~ 2
	中部	中	< 0.5
	尾部	中、外、 往下部收敛	< 0.5

* 内带比值大

4. 矿体上盘围岩汞含量明显地高于下盘围岩中汞的含量，且上盘围岩中以低温汞的存在相态为主，总汞浓度一般为异常含量。下盘围岩中以高温汞存在相态为主，总汞浓度一般为背景值，近矿体部位为异常下限值。

结 语

综上所述，该铅锌矿床能形成清晰的汞的矿床晕

和矿体晕,汞浓度有明显的水平分带和垂向分带。特别是矿体晕中的汞浓度以及不同相态汞的空间分布规律性强。在矿体头部及其上盘和前缘围岩中,形成范围较大的高含量汞异常区,其异常中心位置产出较高。这就为寻找盲矿床提供了较理想的信息。而且在相对矿体的不同标高位置上,低温汞与高温汞的比值是有规律的分布,可用作推测和判断矿体的剥蚀程度。特别是高浓度的低温汞异常,有可能直接指示下伏盲矿体的存在。

文中热释汞的测试工作由本队陈学骏等同志完

成。作者在资料整理过程中得到了郑荣萱、杨克礼同志的支持。顺致谢意。

参 考 文 献

- [1] 尼娜·А·奥泽罗娃(孟庆云译):《汞的原生分散晕》,地质出版社,1976年
- [2] Берман, Ю. С. и др. (王义为等译): Геохимия, 1981, № 11, стр. 1705~1711
- [3] Ryall, W. R., et al. (陶婉琴译): Journal of Geochemical Exploration, 1981, Vol. 16, No. 1, p. 1~11

中国金属学会第三届遥感地质及数学地质学术讨论会在镇江召开

1985年5月14日至5月20日在镇江召开了中国金属学会第三届遥感地质及数学地质学术讨论会。来自全国41个单位的90多名代表出席了这次会议,其中遥感地质代表36名,数学地质代表54名。参加这次会议的代表中,除冶金部和有色金属总公司的遥感、数学地质工作者外,还有石油部、地质矿产部、核工业部以及中国科学院地化所和大专院校的代表。冶金部地质局科技处派人参加了会议。

会议由中国金属学会冶金地质学术委员会遥感数学地质组组长边可正致开幕词。他首先回顾了几年来遥感及数学地质工作的进展情况。在数学地质方面,大中比例尺的矿床统计预测工作,在地质找矿中起到了较好的作用,为综合地质预测提供了多方面的信息,缩小了“靶区”,圈定了可供进一步评价和勘探的有望地区和地段,有的结论已为勘探工程所证实。地质统计学在储量计算方面取得了较好的应用效果,在处理物化探数据、研究勘探方法及统计预测中也取得了可喜的进展。多元统计分析在地质中的应用愈来愈广泛,解决地质问题的能力也有所提高。另外,在程序设计、数据库、计算机应用及微型机开发和应用等方面也做了许多工作。在遥感地质方面,遥感图象资料的解译水平提高很快,对环形构造和线性构造的认识日益深化,用遥感方法开展金属矿产预测取得了进展。特别是随着我国大型数字图象处理设备的引进和应用,上述工作进展更快了,效果也更显著了。通过对矿区地质构造和成矿模式的研究,指出了一批有重要意义的金属矿产成矿远景区和找矿远景地段。有的单位还建立了综合地质数据库,在铁矿、金矿和有色金属矿产的遥感地质工作方面发挥了很好的作用。在利用航空象片估计砂金资源总量及对航空遥感资料作地质解译的研究等方面也取得了较好的效果。

数学地质和遥感地质还是新兴的边缘学科,虽然已经显示了强大的生命力,但它们有一定的应用条件,有些问题还有待于改进和提高。因此,这次会议的主要任务就是围绕数学地质和遥感地质在金属矿产地质找矿中的应用进行广泛的学术交流,总结经验,发挥这两门科学的长处,努力扩大应用范围。

这次会议共收到论文78篇,其中遥感地质论文26篇,数学地质论文52篇。从收到的论文情况看,无论是在理论水平和应用方面,还是在工作方法和应用效果方面,均较前两次会议有很大提高。

最后,遥感数学地质组副组长侯景儒同志在大会闭幕式上作了题为《开创遥感地质及数学地质新局面,为地质工作现代化而努力奋斗》的总结发言。

【本刊通讯员】