

“从已知到未知”的传统方法，更有效、迅速地实施，我们认为，通过在电子计算机上实现的数字滤波方法，从航磁原始数据中提取区域场（在大多数情况下是深源引起的），并进一步研究它的各种“派生场”（化极、微商、下延等），同时利用数理统计方法对航磁场进行分类或分区，就有可能很快地勾绘出一幅“磁场特征线图”（或称为“区域磁场构造图”）和对某种矿产进行预测的统计分类图。根据这样的图件，无论是和已知的地质资料作进一步的核对，还是独立地进行判断，均可望迅速地得到初步的分析结论。

可以设想用下列步骤来达到上述目的：

1. 利用分离区域场和局部场的最小均方误差滤波器提取区域场。在此项处理中，已用功率谱法估算了场源深度。若将这种滤波器与“图幅窗”配合（即通过改变测区大小来调节“窗口”），就可能探测到不同深度的场源，实现垂向分层。

2. 对区域场作化极处理。这不仅使资料的分析大大简化，而且也统一了较大测区内观测分量的方向。根据化极区域场的梯度带和沿其走向方向上的突变（走向改变或错动），可以较确切地划出一组组的特征线。

而不同区域场源深度的变化，可用上述特征线的地质意义，提供某些线索。

3. 计算化极区域场的垂向二次导数。

①可以用其短轴异常的零等值线，圈定深部磁性岩体，而呈线型的拉长的异常，往往反映了古老磁性基底的展布特点；②在很大范围内，用小比例尺航磁资料预测沉积变质铁矿时，往往可以用明显的异常直接圈定远景区；③此种资料的横向分辨率高，获得的特征线，在长度和方向上都比较确切，通过对其长度和方向的统计，可能对区域磁场构造的分区，提供有用的依据。

4. 将单个区域异常分别下延至各自场源的顶部，对比各下延区域场幅值的大小，可以大致了解相应磁性体磁性的相对强弱，为进一步判断场源性质提供资料。

5. 对所提取的局部场进行统计分类，以寻求分类结果与某些矿产的联系。

通过以上步骤来评价航磁异常，既避免了过去在图上主观挑选异常的盲目性，又能尽量利用航磁所提供的各种地质信息，尤其是丰富的深源（深部构造或隐伏地质体）信息，为航磁间接寻找多种金属矿产提供了一条途径，而且，分析研究和推断解释的速度将大大加快。

## 青城子铅锌矿床的地化特点及其找矿

孟 奇

地球化学找矿是青城子矿区重要的找矿手段。早在五十年代末和六十年代初，地质部物探所与原一〇六队配合，相继在本区开展了大量原生晕试验和生产工作，总结出了评价矿致异常的三项指标（ $Pb > 300ppm$ ， $As > 100ppm$ ， $Cu/Pb < 0.2$ ），取得了一定的地质效果，为我国岩石地球化学找矿工作的开展做出了贡献。

近年来，矿区地质和地球化学找矿工作的深入发展及实践证明，用上述三项地球化学指标评价原生晕异常，在许多情况下，效果不理想。为此我们从研究矿床的地球化学特征入手，搞清有关元素的指示意义，以提高找矿效果。

### 矿区地质简介

矿区出露地层为前震旦纪鞍山群和辽河群。鞍山群为酸性—中酸性海底火山熔岩变质的混合岩化变粒岩。辽河群是一套明显的沉积变质岩系，上部为盖县组粘土质碎屑岩建造，由片岩组成，中部为大石桥组，以碳酸盐建造为主，夹碎屑岩及海相古火山碎屑岩建造，由大理岩夹薄层变粒岩组成；下部为浪子山组，属碎屑岩建造，由变粒岩、大理岩、角闪片岩组成。

区内断裂构造发育，褶皱不发育。海西期构造运动形成了矿区东西向构造体系的基本轮廓。

矿区岩浆活动有两期，一是吕梁期形成的混合岩化斜长花岗岩及沿层注入的伟晶岩；二是海西期形成的大斑状黑云母花岗岩和斑状花岗岩，成组成群出现的花岗斑岩脉、煌斑岩脉。

铅锌矿床均赋存在辽河群中、下部地层中，多以盲矿产出。按其赋存部位和产出形态可分为：

榛子沟型矿床：矿体呈似层状产于浪子山组和大石桥组不同岩性界面附近，常见尖灭再现。锌品位高于铅。

南山型矿床：赋存在大石桥组三段大理岩与变粒岩互层岩石组中。矿体位于断裂一侧，呈羽毛状产出。以铅矿化为主，基本不含锌。

本山型矿床：为断裂充填脉状矿床，多产于大石桥三段厚层大理岩中。铅高于锌。

上述三类矿床的共同点是以含矿层为基础，断裂控矿为主导。

关于矿床成因，以前认为是以黑云母花岗岩为成矿母岩的“岩浆期后中温热液充填交代型”，目前提出了“沉积再造”的层控观点。

## 矿床地球化学特点

### 一、含矿层的某些地球化学特征

矿床严格受含矿层所规范，矿体赋存与含矿层的碳酸盐岩石关系密切。

1. 成矿元素铅、锌及伴生组分铜、银、砷、钼、镍、铬、钒在含矿层中的分布量，均高于同类岩石在地壳中的平均值。其中铅在大理岩中约高出1.5~4倍，锌在片岩中高1.5倍。和成矿关系更为密切的与大石桥组大理岩成互层的变粒岩，铅含量最高，一般都在40ppm以上。

2. 矿区及其外围主要含矿层（大理岩和云母片岩）对比，大致可以看出矿区内含矿层中铅、锌分布量比矿区外含矿层中铅、锌分布量要低（表1）。

3. 矿区内含矿层中铅、锌分布量很不均匀，矿床范围内含矿层中铅、锌含量明显增高。如榛子沟矿床区内，大石桥组和浪子山组片岩中锌含量高达300ppm，而南山矿床区的大理岩中铅含量增高到45ppm。

4. 铅在大理岩中的含量比片岩中高，不纯质大理岩（含硅泥质）中更高，一般超过

矿区及外围含矿层中PbZn分布量对比 表1

含矿层岩石	铅 (ppm)		锌 (ppm)	
	矿区	外围	矿区	外围
大石桥组片岩 浪子山组	27	34	44.8	127
大石桥组大理岩 浪子山组	31	98	18.5	25.2

40ppm。

锌在片岩中的含量大大高于大理岩中含量。根据单矿物分析，锌主要赋存在黑云母、石榴石等暗色矿物中（表2）。

黑云母、石榴石中锌分布量 (ppm) 表2

岩石名称	黑云母		石榴石	
	未蚀变	蚀变	未蚀变	蚀变
云母片岩	480	200		
云母片岩	320	200		
云母片岩	320			
石榴石片岩	800	200	480	160
石榴石片岩		480		240
石榴石片岩		320		200
平均	480	280	480	200

据元素地球化学性质推断：锌主要呈类质同象存在于暗色矿物中，替代铁镁锰等二价阳离子（ $Zn^{2+} = 0.83 \text{ \AA}$ ， $Fe^{2+} = 0.83 \text{ \AA}$ ，

$Mg^{2+} = 0.78 \text{ \AA}$ ， $Mn^{2+} = 0.91 \text{ \AA}$ ），因为它们的离子半径很相近。

另外，从表2可见，黑云母、石榴石受后期蚀变后锌含量几乎降低一半。

### 二、铅锌铜在矿区岩浆岩中的分布量

吕梁期斜长花岗岩中铅锌铜均低于地壳花岗岩中的分布量。海西期斑状花岗岩中铅的含量明显增高，而锌则偏低（表3）。

矿区海西期花岗岩派生的煌斑岩脉广泛发育，与矿体具有一定空间关系，受同组断裂控制，往往有蚀变和矿化现象，因而，煌斑岩脉中铅含量常达几百ppm。

铅在海西期花岗岩中分布量比较高，并不是铅在长石中呈广泛的类质同象造成的，而是铅在斑状花岗岩中呈对数正态分布，方差比较大，且见方铅矿独立矿物。

### 三、矿床中元素的分布分配

1. 该矿床主要伴生组分是银、镉、砷、铜、钨、铀、锆（表4），其中银、镉、砷明显富集，而铜、钨、铀、锆略有增高。

矿区岩浆岩与地壳同类岩浆岩中铅锌铜含量 (ppm) 对比

表 3

时 代	岩 浆 岩	铅		锌		铜	
		矿 区	地 壳	矿 区	地 壳	矿 区	地 壳
海西期	斑状花岗岩	54.5	20.0	37.3	60.0	47.0	20.0
	大斑状花岗岩	46.0	20.0	50.0	60.0	10.6	20.0
吕梁期	斜长花岗岩	20.4	20.0	31.0	60.0	10.7	20.0

矿床中微量元素分布量

表 4

元 素	Cu	Ag	As	Cd	Ga	In	Tl	Ge
矿床中的含量 $\bar{C}$ ppm	436.50	96.88	2658.50	325.00	5.67	3.70	1.35	5.90
克拉克值 $\bar{K}$ ppm	55.00	0.07	1.80	0.20	15.00	0.10	0.45	1.50
富集倍数 $\frac{\bar{C}}{\bar{K}}$	7.39	1384	1477	1625	0.37	37	3	3.9

根据相关分析,铅、银相关系数为0.98, 锌镉为0.74,铅、砷为0.63,呈明显正相关。

对铅和铜在矿床中的赋存关系做了大量的统计分析,总的来说,铅和铜不具某种特定的相关性(表5),有时呈正相关,有时不相关,有时近于反相关。这是由铜矿化的空间分布所决定的。根据该矿床金属矿物结晶顺序(图4),铜的矿化是晚期黝铜矿矿

化,它的空间分布与主要的铅锌矿化没有一定的关系。

2. 铅和锌作为主要成矿元素,在矿区各矿床中的品位变化也比较大,不具相关性。但是,铅和锌的相对含量(Zn/Pb)在矿区东部为1.48~1.34,中部为0.79~0.6,西部近似为0。从矿区东部(靠近海西期斑状花岗岩)到西部(远离海西期斑状花岗

矿床中铅铜相关系数

表 5

矿 床	采 样 位 置	$\gamma_{Pb-Cu}$	临 界 值		样 品 数
			$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	
南 山 矿 床	地 表	0.492	0.25	0.19	311
	30米中段	0.387	0.325	0.25	59
	60米中段	-0.18	0.48	0.38	27
	90米中段	0.21	0.39	0.304	42
	-120米中段	0.47	0.39	0.304	40
	-150米中段	0.47	0.448	0.349	31
榛 子 沟 矿 床	240米中段	0.71	0.487	0.381	25
	270米中段	0.53	0.418	0.325	37
	300米中段	0.51	0.525	0.250	60
	330米中段	-0.23	0.487	0.381	25
	330米中段	0.283	0.515	0.404	22
大 地 矿 床	7819孔	0.214	0.267	0.205	90
	7839孔	0.48	0.228	0.174	116
	7815孔	0.15	0.302	0.232	67
	7822孔	0.64	0.254	0.195	95
	7823孔	0.05	0.228	0.174	138
	7817孔	-0.06	0.325	0.25	50
	7811孔	0.76	0.302	0.232	71
	7812孔	-0.014	0.283	0.217	77
	7818孔	-0.276	0.354	0.272	48

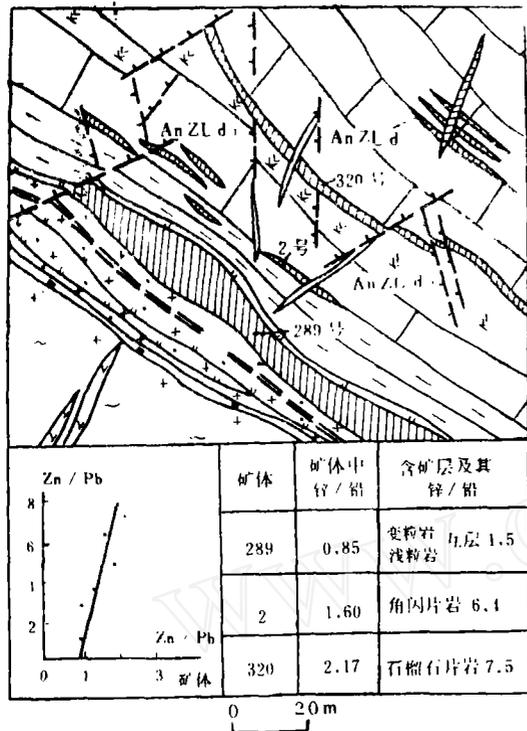


图1 榛子沟矿床主要矿脉与含矿层中 Zn/Pb相关图

岩)铅锌分布量呈现某种分带现象。这种现象的内在因素是与矿体所在的含矿层中铅锌的相对分布量有关。整个矿区(乃至区域上整个含矿层),凡赋存在厚层大理岩中的矿,总是以铅为主,甚至不含锌;赋存在片岩与大理岩互层岩石组中的矿体,锌的品位比较高,甚至比铅还要高。即使在同一矿床中的不同矿脉其Zn/Pb的变化,也是与它所在的含矿层密切相关的。如榛子沟矿床的三条主要矿脉(289号,2号,320号),平行相距仅10~20米,但由于各自所在的含矿层中Zn/Pb不一样,使得矿体中Zn/Pb也不一样,而这两种变化大致呈线性关系(图1)。

#### 四、稳定同位素特点

矿体中黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黝铜矿的硫同位素特点是 $\delta s^{34}$ 变化范围小(+1.3~+7.5%),离散性差,呈明显的“塔式效应”,众数值为+4.5%,接近陨石轴。矿区内各矿床中 $\delta s^{34}$ 无显著差异。

铅同位素主要是分析矿体中的方铅矿,有少量是岩石铅,地层中伟晶岩中长石铅以

及全岩铅。根据本区铅同位素组成 $Pb^{208}$  52.97~51.94%,  $Pb^{207}$  21.90~21.17%,  $Pb^{206}$  24.92~24.33%,  $Pb^{204}$  1.42~1.349%)属正常铅; $Pb^{206}/Pb^{207}$ 相应的模式年龄大多为200~500百万年,矿床中 $Pb^{207}/Pb^{206} = 0.87$ ,海西期斑状花岗岩中的长石铅 $Pb^{207}/Pb^{206} = 0.874$ ,两者极为接近。

#### 五、关于矿床的成矿温度

采用:爆裂法,闪锌矿地质温度计和硫同位素计温,三种方法研究了成矿温度,所得结果基本一致。

三种测(计)温结果表明,矿区成矿温度较高,主要集中在200~300℃,结合矿物穿插关系,可以比较客观的划分出矿化阶段和矿物的结晶顺序(图2)。

另外,根据各矿床某种矿物结晶温度,做出矿床等温线图,可以看出,各矿床都有各自的温度中心(图3)。

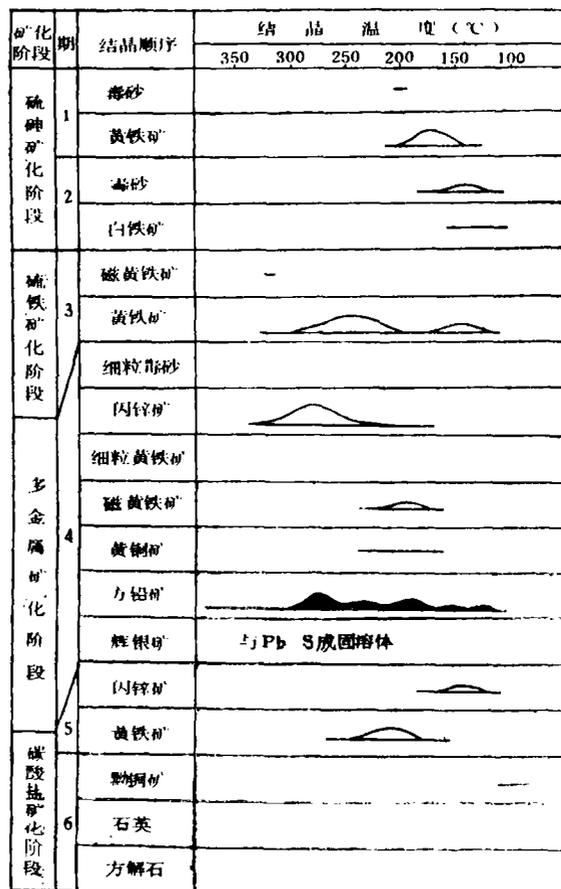


图2 青城子矿区金属矿物结晶顺序图表

## 六、围岩蚀变与地球化学异常

对于与热液作用有关的矿床而言，围岩蚀变与原生地球化学异常是同一成矿作用的不同表现，两者往往体现某些统一性。

总的来说，该矿床的近矿围岩蚀变很不发育，蚀变矿物比较简单，蚀变强度比较微弱，蚀变范围比较小。

大理岩以硅化白云岩化为主，其次是黄铁矿化、滑石化、铁锰碳酸盐化、绢云母化。云母片岩以绢云母化、黄铁矿化较显著，其次是绿泥石化。煌斑岩以碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化为主，其次是绿泥石化和软玉化。近矿围岩蚀变的结果，使矿体附近镁含量降低，铁含量增高。

由于矿床控矿条件和形成机理的一致性，使得原生地球化学异常特征，也基本一致，即以线状异常为其特征。

该矿床能够形成明显的原生地球化学异常的元素有铅、银、砷。鉴于铜和锌在矿床中的分布特点，它们所形成的地球化学异常不具备普遍性。锌的异常出现与否，显然与铅锌矿化类型密切相关。

铅、银、砷异常在单个矿体上下盘异常很不发育，铅异常一般离不开矿体1~2米，有时甚至一离开矿体就变为正常场。银和砷的异常在矿体上下盘中与铅的异常差不多，有时能稍大一点。

原生地球化学异常主要发育在含矿断裂带内，铅、银、砷沿断裂构造可以分散几十米，甚至上百米（图4）。总的来说，离矿体越近异常强度越大。但是，异常强度和矿化强度同样受多种因素影响。异

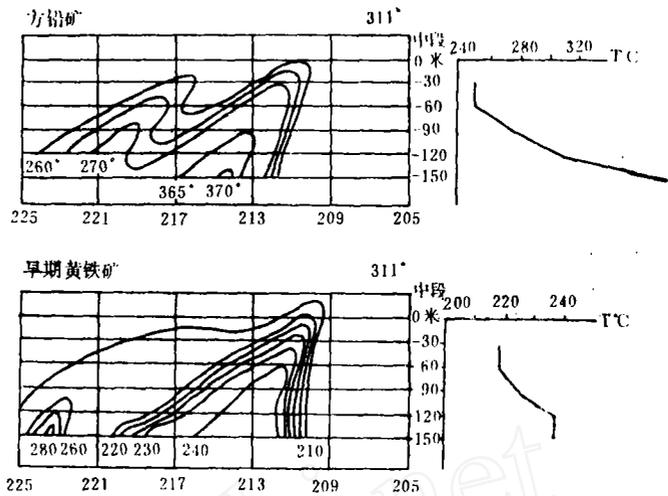


图3 南山矿床起爆温度等温线图

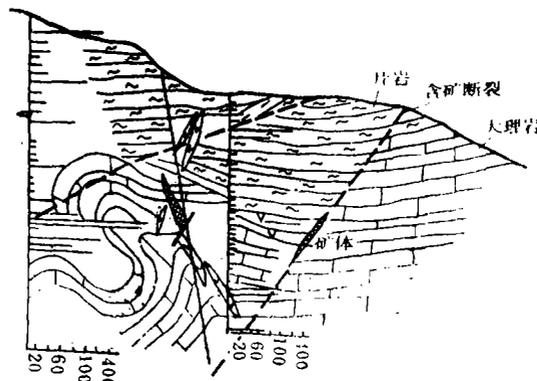
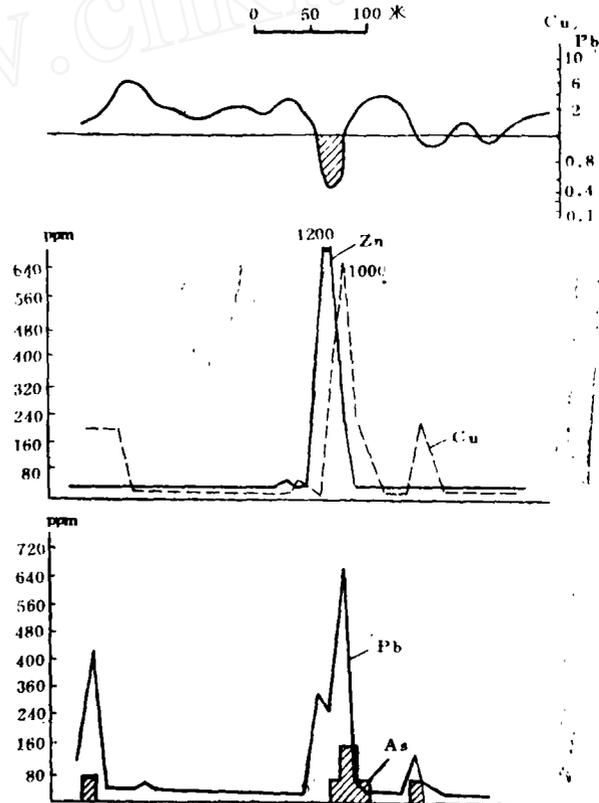


图4 青城子麻泡矿床地球化学剖面图

常强度并非严格受距矿体的远近制约。

根据上述地球化学特征,可以看出:矿床受一定含矿层控制,矿体的赋存与含矿层一定的岩石化学成分有关,含矿层中成矿元素的分布量直接影响矿化类型和矿床规模。因此,含矿层即为矿源层。我们曾对矿区的榛子沟矿床做过估算:该矿床范围约为 $1800 \times 400$ 米,在此范围内,含矿层浪子组片岩的总厚度约为240米,片岩体重为2.7吨/立方米,则片岩的总重量为4.7亿吨。片岩中锌的分布量约为300ppm,算得片岩中锌的原始总量为14.1万吨。片岩经蚀变,锌的带出量大约为1/2,即7万吨左右,现已探明的该矿床锌的总储量为6万吨,两者接近。

但是,赋存在大石桥组厚层大理岩中的矿床,情况比较复杂,从成矿区(带)看,在该含矿层中的铅锌矿床附近均有海西期岩浆岩侵入,该岩体中铅的分布量明显增高,岩体中铅同位素组成和侵入时间与矿床中铅同位素组成和成矿时间的一致性,可以认为:海西期岩浆活动除了为矿床的形成提供热动力(使矿源发生变质再造)以外,也为矿床的形成提供部分成矿物质。这种成矿作用的特殊性导致矿床特定的赋存规律,及围岩蚀变和线性地球化学异常的特征。

### 地球化学找矿

地球化学方法对辽河群地层中的铅锌矿床来说,是必不可少的一种找矿手段。分散流作为一种普查手段,效果很好。在详查阶段,作为地表评价,次生晕工作仅仅用单元素铅作为指示元素,便可以很有把握的揭露被正常残坡积层覆盖的矿体,含矿断裂带,以及与矿化活动有关的各种岩脉。现就原生晕的异常评价讨论如下。

地球化学异常评价,特别是原生晕找矿的异常评价,到现在为止,还没有得到一个比较确切的指标。

#### 一、关于异常强度

异常强度是描述异常特征的参数之一。就矿与非矿异常来说,有时存在异常强度上的差异,非矿异常,一般含量变化范围小。而矿段异常由于受到一系列内外因素的影响(如矿体规模、品位、异常位置与矿体的距离、构造发育程度、围岩性质、成矿成晕的物理化学环境等等),使得异常强度、异常

相对于矿体的距离、矿体规模、品位在理论上的线性关系,经常变得复杂。从图5可以看出,矿体的前缘晕沿层间破碎到地表,在地表和钻孔中的异常强度显然不一样。地表铅异常小于200ppm,而靠近矿体的钻孔中,

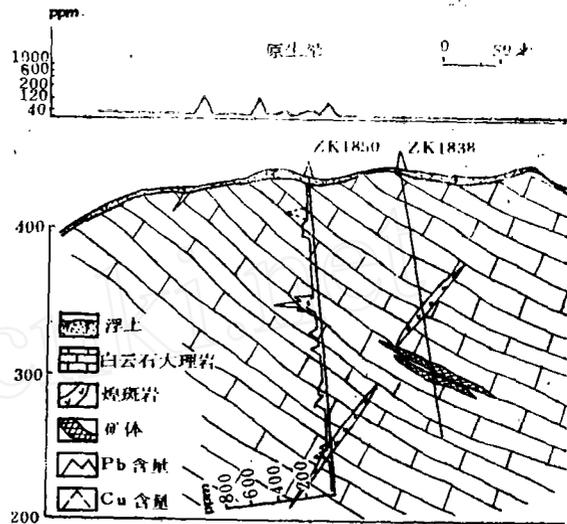


图5 青城子芦家南沟地球化学剖面图

异常强度则大于300ppm。在这种情况下,异常强度就取决于取样的位置与矿体之间的距离。所以,用异常强度作为评价矿化富集程度的指标,是需要具备一定条件的。

#### 二、关于“元素对”比值

根据元素的相关性,确定元素对及其比值,作为异常、铁帽和岩体评价的地球化学指标,已经收到很好的效果。它不仅用来区分矿与非矿异常,还可确定矿化类型和大致推断盲矿体的空间位置。但是,在确定元素对时,必须首先搞清元素之间的相互关系,以及各种元素在矿床和由矿体形成的异常中的分配特点。显然,两个互为正相关的元素对,其比值是没有多大意义的,因为这种比值在异常范围内的变化很小。比较理想的是呈反相关的元素对。即使不呈反相关,也必须是元素对在异常不同空间部位,不同的地质体其相对分布量有较大差异。这样,元素对比值在异常的不同部位才有显著差异。

本区过去提出的区分矿与非矿异常的地球化学指标之一是 $Cu/Pb < 0.2$ 。现在看来,没有普遍性,因为:

1. 铜在矿床中的分配有时可形成明显的异常,有时又不形成异常;
2. 当铜和铅同时形成异常时,特别是晚

南山矿床原生晕三项指标统计表

表 6

中段	剖面号	异常点数	符合异常评价指标点数			符合三项指标	
			Pb>300ppm	As>100ppm	Cu/Pb<0.2	点数	%
地	201线	15	0	0	2	0	0
	205 "	6	1	0	2	0	
	209 "	25	2	1	5	0	
	213 "	7	0	0	1	0	
	217 "	28	5	0	12	0	
30米	213 "	32	7	8	16	7	20
	217 "	4	0	3	1	0	
60米	213 "	26	10	9	20	4	13
	217 "	19	8	11	7	2	
	221 "	0	0	0	0	0	
90米	201 "	5	1	2	3	0	14
	213 "	23	4	1	9	1	
	217 "	28	8	13	12	7	
	221 "	15	3	8	4	2	
120米	201 "	13	2	6	5	1	25
	213 "	34	16	31	25	14	
	217 "	19	7	5	11	4	
	221 "	23	5	5	7	3	
150米	213 "	14	3	5	5	3	8
	217 "	19	1	1	3	0	
	221 "	31	4	6	6	2	

期铜矿化与铅锌矿化在一起时，Cu/Pb就不一定小于0.2（见图4）。

为了搞清矿异常与三项指标的关系，我们对工程控制程度比较高，原生晕资料比较多的南山矿床做了系统的统计（表6）。

该矿床全为盲矿体，矿体离地表最浅的只十几或几十米，异常沿控矿断裂达于地表。从统计结果可以明显看出，不仅在地表，就是在深部的不同中段，矿异常中符合三项指标的比例亦很低。其他矿床的情况也如此。

在符合三项指标的地球化学剖面上，均有煌斑岩脉的出露（图6、7、8），没有岩脉的矿异常并不一定符合三项指标（图5）。这很显然是煌斑岩脉在起主导作用。如前所述，煌斑岩脉是海西期斑状花岗岩的派生产物，其形成时间和控制它的构造体系与矿床的形成时间及控矿构造体系有一致性。而且煌斑岩脉含有较多的硫化物。这一点从所做硫阴离子气化测定的试验中得到证明。煌斑岩蚀变比较普遍，铅的分布量往往都达到几百ppm，而铜的含量一般都没有明

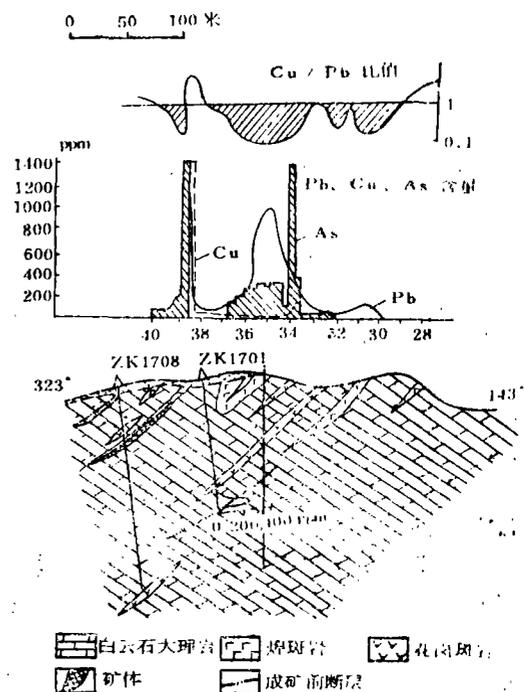


图 6 青城子赵家南沟地球化学剖面图

显增高。因而，煌斑岩引起的异常往往符合三项指标。当这种煌斑岩脉与矿体同处于一个含矿断裂之中时，三项指标找矿效果好。

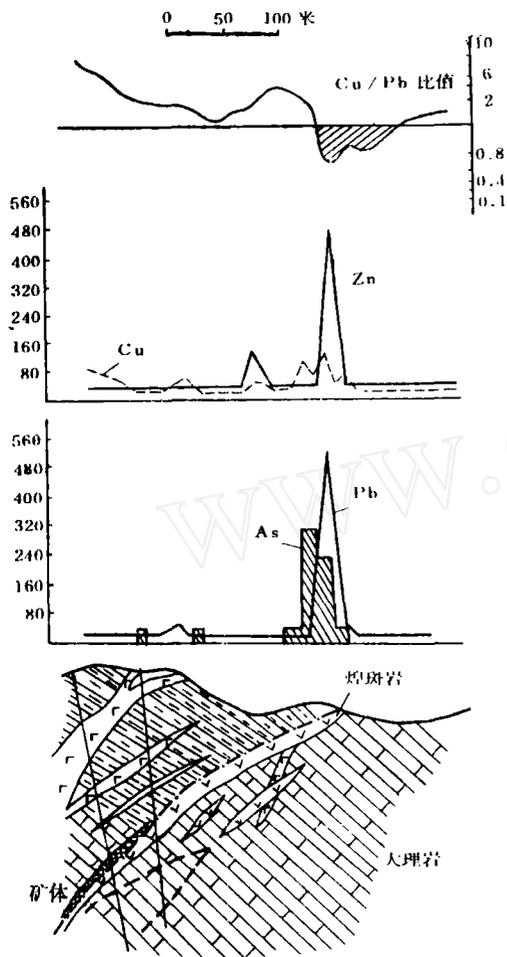


图7 青城子矿洞沟19线地球化学剖面图

### 三、对本区原生晕异常评价的想法

为了解决盲矿评价指标问题，从矿床的地质与地球化学特征两方面研究是可行的。

1. 由于该类矿床严格受含矿层规范和受断裂构造体系控制，只要获得Pb、Ag、As、Zn、Cu的异常（特别是Pb、Ag、As的综合异常），并具备成矿地质条件，可以大胆进行验证。

2. 鉴于该类矿床的赋存空间与含矿层的岩石化学成分，成矿元素的丰度有关，可以系统研究含矿层中常量元素与微量元素的相互关系，以确定某些相应的参数来圈定有利

的含矿部位。

为了达到上述两个目的，最重要的一点是加强地球化学研究，特别是基础地球化学工作。必须搞清楚元素在矿床、地层、岩浆岩等各类地质体中的分布分配，弄清元素在成矿前后的演化历史。

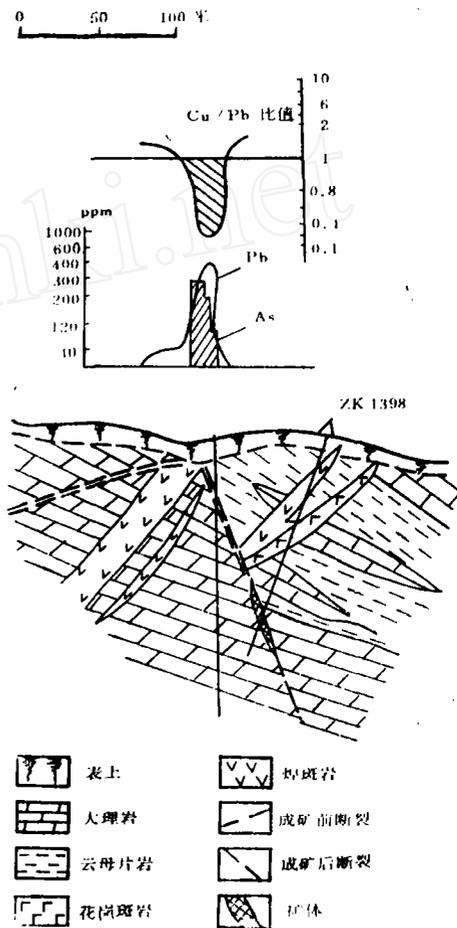


图8 青城子头道沟地球化学剖面图

像青城子这种类型的铅锌矿床、铜矿床、金矿床在我国占有很重要的地位。这种类型的矿床的地球化学找矿工作，已经积累了很多资料，取得了一定的经验，但从找矿需要和实际可能来看，应该有一个新的突破。当然，这是有一定难度的。但是，只要我们广开思路，做踏实、艰苦的工作，必会取得新的成果，地球化学找矿工作也一定会有新的发展。