

表 6

点号	区 间	n_2	$P_{2g}^{(2)}$	$n_2 P_{2g}^{(2)}$	$n_2 P_{1g} Fc_2$	$P_{2g}^{(1)}$	$n_2 P_{2g}^{(1)}$	$n_2 P_{2g}^{(1)} Fc_1$	Δg_c	电 算 值
0	1cm内				0.600			0.530		
	1~5	360	0.106	38.2		0.241	86.8			
	6~10	350	0.148	53.3		0.284	102			
	11~15	350	0.198	71.3		0.298	107			
	16~20	88	0.250	22.0		0.275	24.2			
				184.8	1.290		320.0	0.746		
	Σ				1.890			1.276	0.614	0.629
± 0.5									0.576	0.587
± 1.0									0.468	0.476
± 2.0									0.227	0.236
± 3.0									0.096	0.113
± 4.0									0.062	0.0595

$$Fc_2 = 0.00698$$

$$Fc_1 = 0.00233$$

条剖面, 然后分别乘上不同系数, 即可求得全平面的重、磁异常值, 还可以直接计算航磁 ΔT , 作二度厚板量板使用等, 限于篇幅, 不一一介绍。

两江铜矿区化探找矿指标及效果

广西冶金地质勘探公司二七二队 (班义江执笔)

两江铜矿区, 原来只是一个矿点, 1972 年以来, 我们与地质相配合, 在区内开展系统的化探找矿工作, 取得显著效果。勘探结果表明, 该区是一个具有相当规模的铜矿区。

本区化探工作分两个阶段: 第一阶段, 在“天窗”^{*}内寒武系地层出露区进行浅部找矿; 第二阶段, 在“天窗”周围泥盆系地层分布区寻找原岩覆盖下的深部盲矿体。

区内化探已详查面积为 50 多平方公里。投入方法为次生晕及原生晕法。次生晕采样网度为 100×20 米, 采样层位为残坡积土 B 层。原生晕法是在获得次生异常的区段进行, 测线间隔不等, 一般为 20 米至 100 余米。点距一般为 10 米, 遇断裂则加密至 5 ~ 2 米。分析元素, 除氟、碘采用离子选择性电极分析外 (氟、碘元素应用于第二阶段), 其余用化学简易分析和光谱分析。

矿 区 地 质

矿区位于广西大明山背斜西翼中段。区内出露地层为中上寒武系浅海相碎屑岩、碳酸岩及下泥盆统莲花山组、那高岭组碎屑岩。莲花山组地层覆盖于寒武系地层之上, 两者呈明显的角度不整合接触。由于上覆岩石被剥蚀, 寒武系地层裸露而构成“天窗”。本区主要构造为复式褶皱和断裂。褶皱呈东西向紧密线状排列。断裂构造有东西向、北东向、北西向、南北向四组。东西、北东向两组, 是本区主要控矿构造。岩浆岩主要为石英斑岩, 多呈岩脉沿北东向产出, 与矿床在空间上、成因上有一定联系 (图 1)。

* “天窗”, 指矿区内泥盆系盖层被剥蚀后, 寒武系地层裸露的区段。

铜矿床赋存于寒武系地层中，矿体严格受东西、北东向断裂构造控制。金属矿物以黄铜矿为主，共生矿物达二十多种。脉石矿物为石英、白云石。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、高岭石化、绿泥石化。矿床类型属破碎带石英硫化物中—高温热液矿床。

找矿指示元素

1. 常规指示元素的选择 本区成矿具多阶段性，大体分为无矿石英、含铜石英、硫化物、多金属、无矿碳酸盐五个阶段。其中硫化物阶段为主要成矿阶段，次为多金属阶段。在硫化物阶段，大量析出黄铜矿，共生矿物有磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、黝铜矿、闪锌矿、车轮矿、方铅矿、辉铋矿、辉砷钴镍矿、铋硫

镍矿、银金矿等。多金属阶段，以闪锌矿、方铅矿、黄铜矿为主。共生矿物与硫化物阶段大致相同。据光谱查定，矿石中主要元素有铜、铅、锌、砷、银、钴、镍、镉、铋等，与矿石矿物的组成元素基本相应。为了解铜与其余一些元素在成矿过程中的相互关系，计算了元素对的相关系数（表1）。结果表明，铜与砷、银、钴、镍为密切的正相关，可认为这些元素在同一成矿阶段共迁移共沉淀。铜与铅则表现为不相关。主要金属矿物中某些元素的分配见表2。从表2可以看出，黄铜矿中主要含砷、银、铅、砷、镍、铋。方铅矿中主要含银、砷、铋、镉、铋。闪锌矿中主要含铜、镉、铅、银、钴、铋。黄铁矿有两种，它们当中的元素分配有明显差异，一种主要含砷、铋、砷，另一种可能是镍黄铁矿（？）主要含砷、镍、铜、铅、钴、银。两者可能是不同成矿阶段的产物。已查明方铅矿中有银黝铜矿和红铋镍

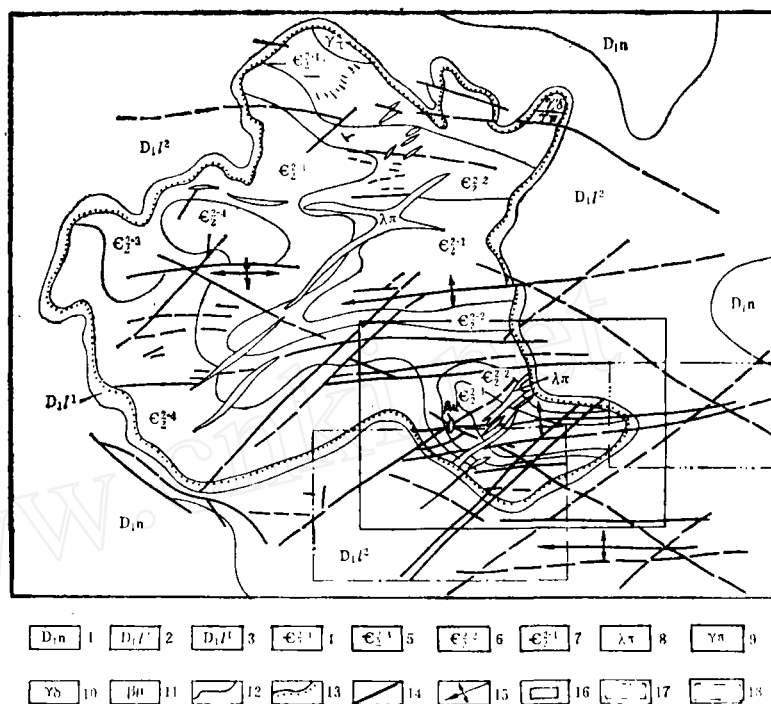


图1 两江铜矿地质图

1. 泥盆系下统那高岭组页岩泥岩； 2. 泥盆系下统莲花山组泥质砂岩；
3. 泥盆系下统莲花山组含砾石英砂岩； 4. 寒武系中统砂页岩夹碳酸盐岩；
5. 寒武系中统砂岩夹页岩； 6. 寒武系中统砂页岩互层；
7. 寒武系中统厚层砂岩； 8. 石英斑岩； 9. 花岗斑岩；
10. 花岗闪长斑岩； 11. 变粒辉岩； 12. 地质界线；
13. 沉积角度不整合界线； 14. 断裂或断裂带； 15. 背斜轴；
16. 图7范围； 17. 图12~图14范围； 18. 图9~图11范围

矿等独立矿物。闪锌矿和黄铜矿相互在对方矿物中有固溶体分凝物存在。其余可能呈类质同象或其它非独立矿物形式存于相应的矿物中。可以看出，与铜常相伴出现的元素为砷、银、铅、镍。据原生晕实测剖面（图2），在已知矿体上方，铜、砷、银晕显示最清晰，次为砷晕，钴、镍晕反映微弱，铅在近矿围岩有弱晕显示。这些元素可作为区内化探找矿的指示元素。

2. 重要的探途元素—氟和碘 随着本区地质找矿评价工作的进展，向化探提出，在“天窗”外围寻找泥盆系地层覆盖区的、深埋于寒武系地层中的盲矿体。起初沿用“常规”指示元素在“天窗”外围进行次生晕扫面，效果不佳。因而必须选择有效的指示元素。据已知矿体上的试验结果，氟、碘均出现了清晰的次生异常（图12、图13中的②—9号异常）。在矿体四周的围岩中也有较大规模的氟原生晕出现，尤以矿体上盘及前缘更

I、II 铜矿带元素相关系数

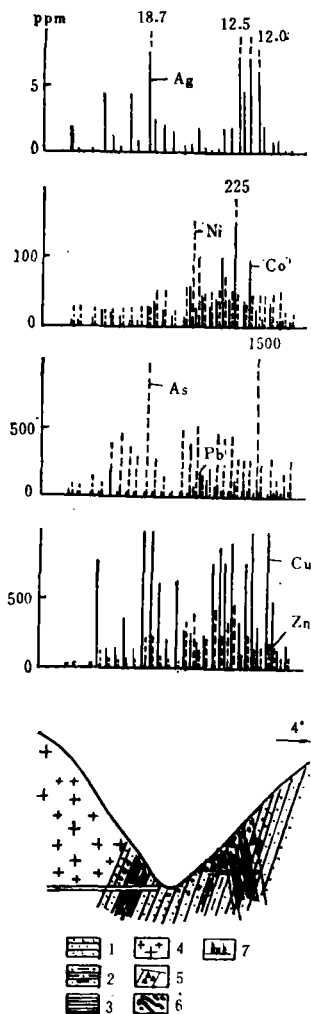
表 1

元素 带	Cu—Co		Cu—Ag		Cu—Ni		Cu—Zn		Cu—As		Cu—Pb	
	γ	$\gamma_{0.05}$	γ	$\gamma_{0.05}$	γ	$\gamma_{0.05}$	γ	$\gamma_{0.05}$	γ	$\gamma_{0.05}$	γ	$\gamma_{0.05}$
I 矿带	0.56	0.28	0.67	0.19	0.65	0.19	0.50	0.26	0.49	0.19	0.207	0.205
II 矿带	0.99	0.23	0.73	0.22	0.92	0.22	0.41	0.22	0.41	0.25	-0.104	0.22

单矿物中元素平均含量 (ppm)

表 2

单矿物	样品数	元 素 (几 何 平 均 值)										
		Cu	Pb	Zn	As	Ag	Co	Ni	Sn	Cd	Bi	Sb
黄铜矿	9	>10000	1482	10000	373	287	19	115	79	53	0	179
黄铁矿	5	193	162	3594	1994	7	15	25	<10	<10	0	1292
“ ” “ ”	2	10000	3873	3162	<100	122	200	1000	<10	0	<150	<100
方铅矿	5	246	>10000	2221	108	7860	<10	29	41	597	1431	6178
闪锌矿	9	4481	2918	>10000	270	125	287	85	11	>10000	<20	358

图 2
2—6号剖面

1. 砂岩;
2. 泥质砂岩;
3. 页岩;
4. 石英斑岩;
5. 断裂带;
6. 矿体;
7. 原生晕元素含量 (ppm)

为发育,但围岩中碘原生晕不发育(图3)。

本区蚀变围岩和矿体中,未见氟、碘的独立矿物。氟主要存在于绢云母、白云母类蚀变矿物中。蚀变砂岩中云母氟含量高于正常砂岩的云母氟含量三倍。碘主要存在于黄铜矿中,次为闪锌矿,在围岩中含量很低(表3)。此外,对在已知矿体上方异常区的泥盆系莲花山组砂岩中的云母与氟、碘含量的关系也作了研究。由于在这类岩石中云母不易挑出,采用镜下估计标本中云母含量百分比与标本的氟、碘含量进行相关分析,算出相关系数:云母类—氟 $\gamma = 0.451$;云母类—碘 $\gamma = 0.142$ (检验值 $\gamma_{0.05} = 0.29$),表明云母含量与氟含量为密切正相关,两者存在共消长关系,云母的多少与碘含量无关。可以认为,本区氟元素主要赋存于蚀变围岩和含矿断裂带附近的云母类蚀变矿物中,碘则存在于铜矿体中。对其晕的形成机理可这样推断:在成矿过程中,围岩发生蚀变,斜长石被交代成为绢云母,氟在热液中以络合物的形式携带大量金属元素沿着断裂构造运移,当地化条件发生变化,金属元素沉淀而形成矿体,氟离子仍在残浆中继续迁移,且以类质同象的形式进入矿体围岩和断裂附近围岩的云母中,因而形成远离矿体的氟晕。碘元素和氟类似,在远离矿体的围岩中应形成碘晕(由于分析问题,围岩中的碘晕尚未

含量(ppm) 元素 岩名名称	正常砂岩	蚀变砂岩	正常砂岩 中云母	蚀变砂岩 中云母	黄铜矿	闪锌矿	方铅矿
F	115	266	135	345	22	22	28
I	1.5	0	2.3	0.54	83	15	0.42

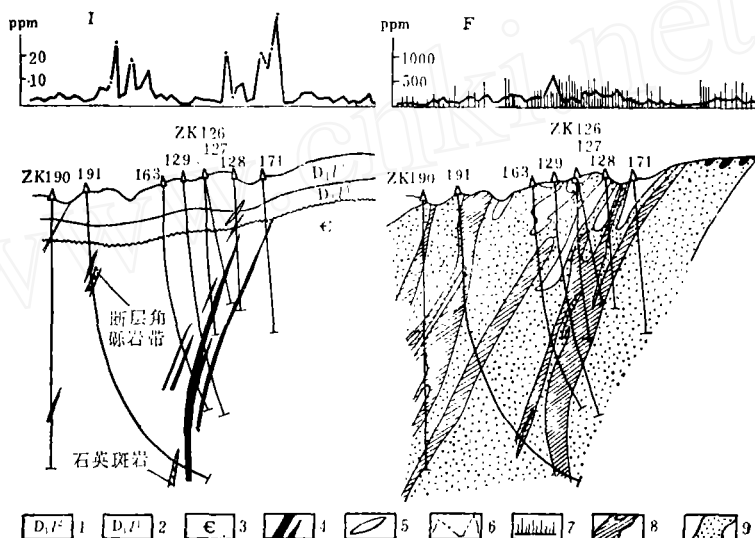


图3 1—1号勘探线地球化学综合图

- 1.泥盆系下统莲花山组上部泥质砂岩； 2.莲花山组下部石英砂岩； 3.寒武系砂页岩；
4.矿体； 5.石英脉； 6.次生晕曲线； 7.原生晕； 8.原生晕中、内带(>400ppm)；
9.原生晕外带(200~400ppm)

查明)，特别是赋存于矿体中的碘，而后受热力作用升华，以碘蒸气沿断裂构造方向扩散，达地表断裂附近，被富含有机质的土壤吸附而固定下来。因而在含矿断裂上能形成次生分散晕。

由于氟、碘具有化学活动性大、易挥发、迁移能力强的特点，是本区较好的找矿探途元素，综合运用评价断裂构造的含矿性，寻找厚岩覆盖下的盲矿体，有其独特的作用。

矿体的分散晕特征

1.晕的形态特征 原生晕的形态，明显地受断裂构造带和岩层裂隙控制，晕的形状不规则，在垂向和纵向延伸大，横向晕幅小，大体上为沿一定方向展布的长条带状。晕中元素扩散距离一般仅数米，晕的内部结构均呈锯齿状(图4)。在矿体前缘，元素沿着断裂、裂隙渗滤延伸，有些元素在距矿

体几十米甚至百米以上的地表，仍有清晰的分散晕显示(图5)。矿体和矿带厚度大小，与含矿主断裂及旁侧次级裂隙、劈理的发育程度密切相关，两组断裂的交汇也是矿体变厚的有利部位，因而晕的形态也随之发生变异，在相应地段呈现横向膨胀或是晕带复合、晕带交叉等现象。如②—2号铜原生异常为东西向与北东向两晕带的复合，反映两组含矿断裂的交汇，矿体厚达20余米(图6)。在泥盆系莲花山组地层上，与深部矿体有关的氟、碘次生异常，除共同具有横向晕变化连续的特点外，两者还各具不同的分布特征。氟晕横向分布较开阔，在平面上呈椭圆状或宽带状分布。异常主体常位于含矿断裂上盘一侧。碘晕则呈狭长状分布，晕的横向变化梯度大，异常的展布与含矿断裂带的位置相吻合(图12、13之②—9异常)。

2.矿体的原生晕中元素垂向分带结构

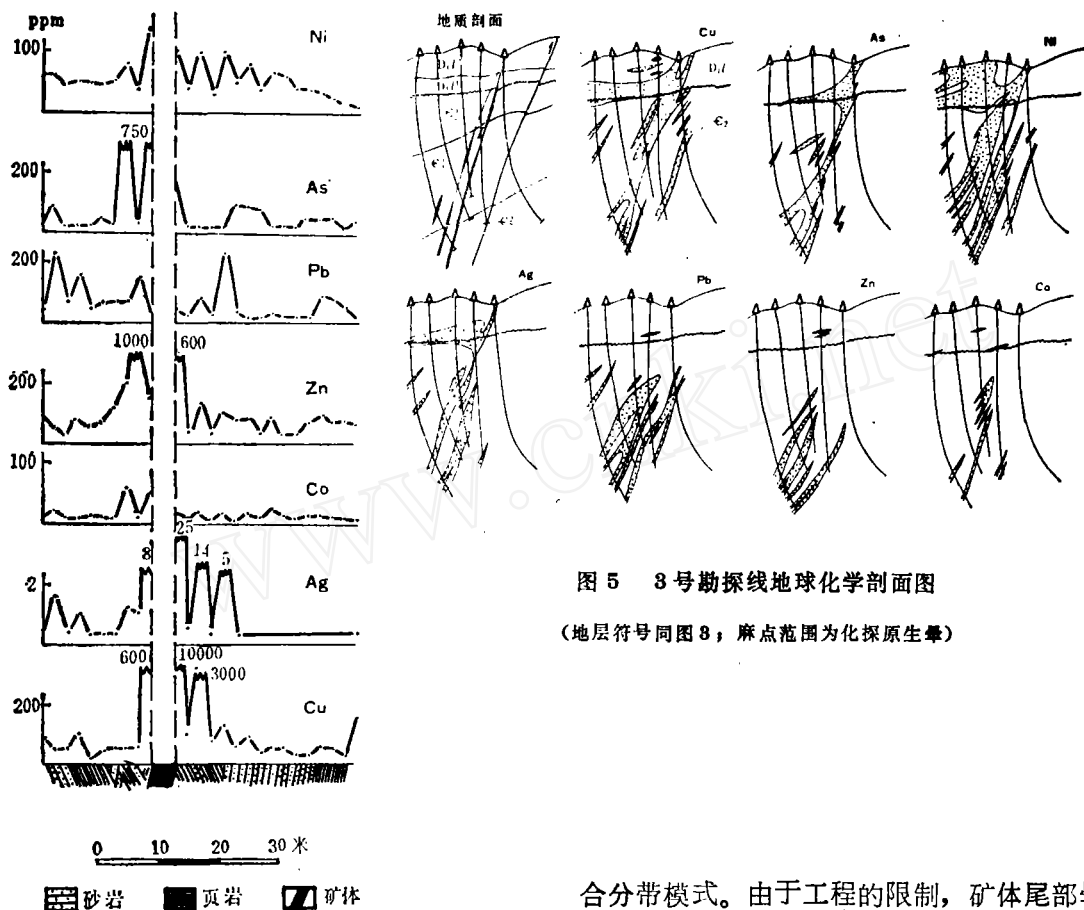


图4 六号坑607穿脉矿体旁侧原生晕曲线图

本区矿体的原生晕以多元素组合为特点，但由于成矿的多阶段性以及围岩条件、元素迁移能力的不同，使矿体的原生晕中元素具一

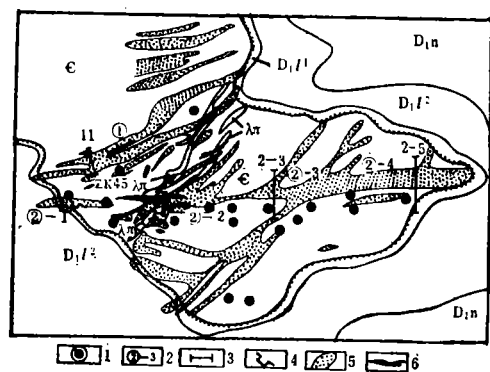


图6 “天窗”东南部铜晕平面图

1. 见矿钻孔；2. 异常号；3. 剖面；4. 浅坑；5. 铜原生晕 (>100ppm)；6. 矿体

定的垂向分带结构(图7)。该图是据实测地球化学断面统计作出的矿体原生晕元素组

图5 3号勘探线地球化学剖面图

(地层符号同图8；麻点范围为化探原生晕)

合分带模式。由于工程的限制，矿体尾部晕中元素的分布尚未查明。在矿体前缘，第一带属近矿元素组合带，有铜、铅、锌、砷、镍、钴、银、氟。第二带为较远矿元素组合带，有铜、砷、镍、银、铅、氟。以上两带均在寒武系地层中，第三带为远矿元素组合带，位于泥盆系莲花山组地层中，出现铜、砷、镍、银、氟组合。在其表生带，铜、

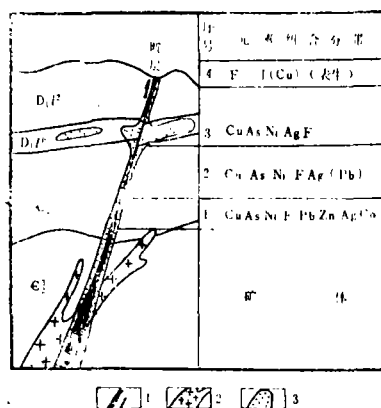


图7 矿体原生晕中元素垂向分带模式图

1. 铜矿体；2. 石英斑岩；3. 原生晕带

砷、镍、银次生晕已很弱，但清楚地出现了氟、碘的次生晕（图3）。至此，可得出评价异常的元素组合指标：晕中元素为铜、铅、锌、砷、银、钴、镍组合，为近矿晕，预示矿体埋藏较浅；晕中元素仅为铜、砷、镍、银组合为远矿晕，预示矿体埋藏较深；在莲花山盖层上有氟、碘综合晕显示，预示含矿断裂带的存在，盖层下可能有盲矿体赋存。

3. 矿体原生晕和非矿晕的判别分析 在对区内寒武系地层上化探异常的评价中，运用两类判别分析方法，求出判别函数临界值，作为区分矿与非矿异常的一个数学指标。

选择已知的矿体原生晕和非矿晕分别为A、B母体，以铜、铅、锌元素为变量（含量数据经对数转换），经计算得出系数： $\lambda_{Cu} = 62.8$ ， $\lambda_{Zn} = -45.8$ ， $\lambda_{Pb} = -31.7$ 。

建立判别方程： $R = 62.8X_{Cu} - 45.8X_{Zn} - 31.7X_{Pb}$

采用马哈拉诺比斯 D^2 统计量进行显著性检验，计算得 $F_{(3,2)} = 9.77$ ，查表得 $F_{(3,2)}^{0.1} = 9.16$ ， $F_{(3,2)} > F_{(3,2)}^{0.1}$ ，在10%信度两母体有显著性差异，应用铜、铅、锌进行判别分析将有90%的把握。

表4是以铜、铅、锌、元素组为变量进行判别函数计算所得结果。矿体原生晕和非矿晕的判别函数R，以判别函数临界值 R_o 为界，有明显分离。因而得出区分矿与非矿异常的判别分析指数 $R_o = 4.7$ 。以上式进行计算，待判异常判别函数F，大于4.7者，为矿致异常，反之为非矿异常。

异常评价主要指标及找矿效果

1. 异常评价主要指标 综上所述，将本区寒武系地层分布区和泥盆系地层覆盖区的

化探异常评价主要指标归纳如下：

（1）寒武系地层上矿致晕指标

①晕为多元素综合，铜、铅、锌、砷、银、钴、镍为近矿指示。若仅出现铜、砷、镍、银元素组合，则为远矿指示。锌、钴是特征的近矿指示。②综合晕的展布形态为纵向延伸大，横向晕幅窄的长条带状。③综合晕带上晕有横向膨胀、两个晕带的复合或交叉，是矿体密集或矿体变厚的地段。④以铜、铅、锌为变量，进行两类判别分析。判别指数 $R_o = 4.7$ ，待判异常大于 R_o 者，为矿致晕，反之则为非矿晕。

（2）泥盆系盖层上矿致晕指标

①氟、碘次生晕综合显示，晕连续性较好，横向变化梯度大，氟晕为椭圆状或条带状分布，在氟晕的一侧，碘晕呈似线状分布。②在氟、碘综合次生异常上，有铜、砷、镍、银原生晕间断出现。

2. 地质效果 区内共发现化探异常二十多处，其中有部分异常已先后进行钻探验证，大都见到铜矿体。

①号异常位于“天窗”东南角，由两个相互平行的铜、铅、锌综合原生晕带组成，分布于寒武系地层中。晕中尚有砷、银、钴、镍元素显示，铜、铅晕内带分布连续（铜内带 $>1000\text{ppm}$ ，铅内带 $>500\text{ppm}$ ），锌晕则以中带（ $375\sim1000\text{ppm}$ ）为主。综合晕呈长条带状沿北东向断裂带展布（图6）。在晕带中部，由民窿揭露，已知矿带长仅200余米，矿体产于断裂带中。从异常的显示特点认为，该异常是由铜矿带引起。从晕的展布看，除与已知的矿体有关外，主要是预示着矿带向北东、南西方向有较大的延伸，推断矿带长在千米以上，有与之平行的晕带出

矿异常与非矿异常判别分析结果

表4

母体	矿异常(A)			非矿异常(B)			待判异常					
异常编号	②-2	②-1	①	④	④	④	②-3				②-4	
计算线号	2-6	A10	11	50炸	53座	56座	(23座) (35座)	36座	2-4	25	2-5	K64
R	20.9	24.4	26.8	-25.4	-11.6	-7.8	20	33	7	21	36	28
R_o	4.7											
判别结果							矿异常				矿异常	
验证结果							见矿				见矿	

现。说明尚有平行的矿带存在。在异常西南段的11号剖面，晕中元素组合齐全，晕值高，具近矿晕特征，说明矿体埋藏很浅，经109号浅窿验证，见到了矿体。在晕的复合部位，打了三个钻孔，在深部均见矿体，矿带厚度增加（图8）。该异常带已为钻探系统控制，有关矿带延展规模和有平行矿带存在的推断均得到了证实。

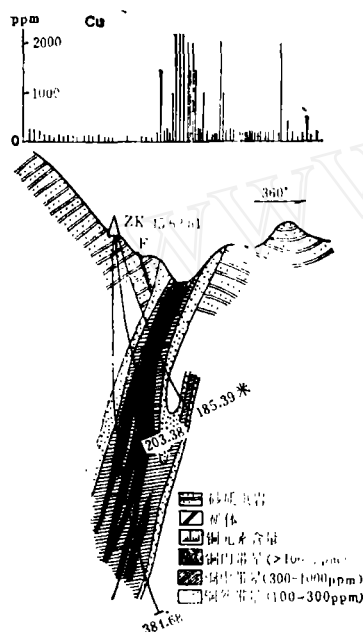


图8 2号剖面铜原生晕综合图

②号异常，亦位于“天窗”东南角，是一长达二千多米的铜、铅、锌综合原生晕带，分布于寒武系地层中，沿东西向断裂带发育。晕的形态不稳定，横向膨缩现象相间出现。在晕的膨胀地段，多是与北东向晕带汇合或斜交。铜晕内带（>1000ppm）发育，铅晕以中带（200~500ppm）为主，锌晕或出现内带（>1000ppm），或出现中带（375~1000ppm）。按晕的展布情况，自西而东分为②—1、②—2、②—3、②—4四个异常段（图6）。②—2号异常段，与原已揭露的矿体有关，该处已知矿带长300米左右，受东西向断裂带控制。在上述各异常段，分别作原生晕实测剖面，除有清晰的铜、铅、锌晕显示外，尚有砷、银、钴、镍晕反映。据上所述，推断该异常为延展规模达二千余米的東西向含矿断裂带所引起，晕的横向膨胀或两组晕带的交叉部位，是矿

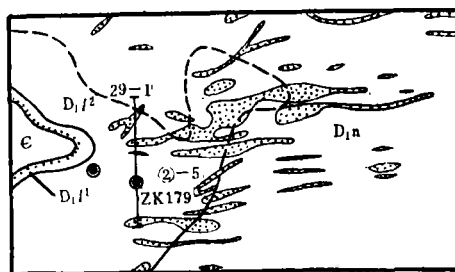


图9 六毛峰铜晕平面图

麻点范围表示铜原生晕（>35ppm），
其余图例同图6

体变厚或密集的地段。据此，分别进行了工程验证。②—1号异常段，在铜晕内带部位，打了两个浅窿，均见矿体；②—3号异常段，实地踏勘，见铜矿化露头，后打两浅窿，见强烈铜矿化，未遇矿体。据窿道及剖面上的异常进行两类判别分析，得出的判别函数R均大于判别函数临界值Ro（表4），因而认定该异常段仍为矿致异常。钻探验证，在深部见到三层矿体；②—4号异常段，地表踏勘亦见到铜矿化，两类判别分析结果，晕的判别函数R大于判别函数临界值Ro（表4）。认为该异常为矿致异常，浅窿验证见强烈铜矿化及矿体，深部钻探也遇到了矿体，矿体厚达30余米。对该异常带已进行深部钻探评价，表明该异常所反映的矿带

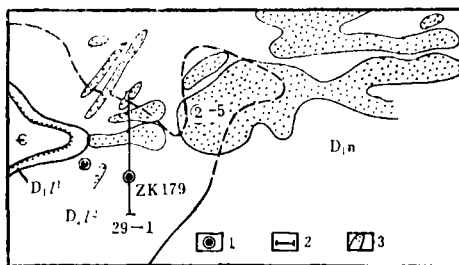


图10 六毛峰铅晕平面图

1. 见矿钻孔；2. 剖面；3. 铅原生晕（>500ppm）

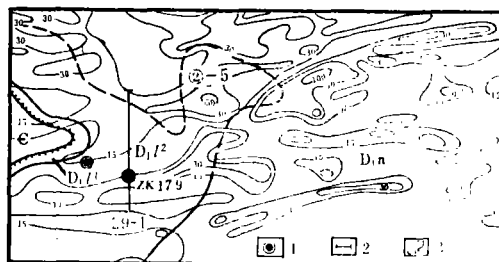


图11 六毛峰砷晕平面图

1. 见矿钻孔；2. 剖面；3. 砷次生晕（ppm）

是本区规模较大的矿带。

②—5号异常位于“天窗”东南端泥盆系盖层上,属②号异常带的东延部分,该异常是一个以氟、碘、铜为主的综合异常。铜原生晕显示微弱,一般浓度仅35~100ppm。晕带由多个异常组成,近东西走向,长1200米,晕形态不规则,膨缩现象明显(图9)。氟次生晕异常断续分布,但其原生异常则较连续,走向近东西。一般浓度500~1000ppm,在中部晕有明显的横向膨大,与铜晕带膨大的部位相吻合(图10)。碘次生异常带由两个异常组成,晕展布开阔,浓度大,晕带长1700米(图11)。综合晕带的分布与东西向断裂的分布一致。从晕的组合和分布特点分析,认为该综合异常反映了含矿断裂带,在其深部应有铜矿体存在。经钻探验证,在井深451米至458米见含矿断裂带和铜矿体。

⑤—2异常,位于“天窗”南部象头山泥盆系盖层上,是一氟、碘综合次生异常,

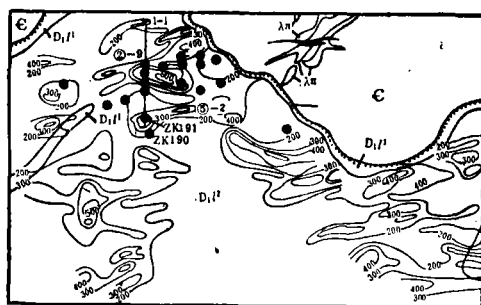


图12 象头山氟次生晕(ppm)平面图

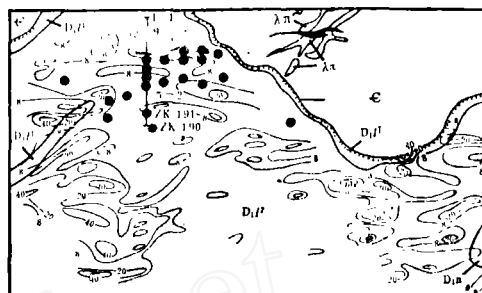


图13 象头山碘次生晕(ppm)平面图

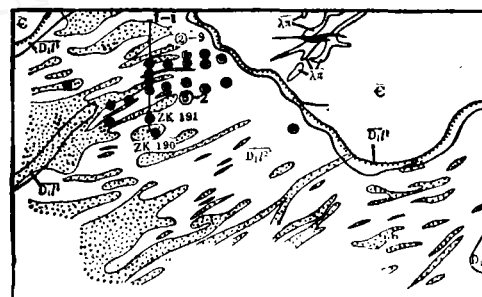


图14 象头山铜原生晕(麻点范围, >35 ppm)平面图

近东西走向,氟晕展布开阔,在东部已与②—9号异常连成一片(图12)。碘晕分为两个,呈条带状平行分布(图13)。在晕带上铜原生晕有微弱显示,以外带为主,分布于氟次生异常西半部(图14),推断该综合异常与含矿断裂有关,在深部可能赋存着铜矿体。钻探结果,191和190号孔分别在井深42和425米处打到了矿体(图3)。

氟元素在寻找深部盲矿体方面的应用

谢业新

在两江铜矿及其外围,利用氟及其它挥发性元素开展了找矿普查工作,效果良好。现就氟量测量问题及工作成果介绍于下。

概况

1.地质概况 矿区位于东西构造南缘隆起带与广西山字型构造前弧西翼的构造交汇处。地层由寒武系基底与泥盆系莲花山组盖

层组成。盖层厚达200余米。矿床产于基底破碎带中,属中高温热液细脉浸染多金属型铜矿床。矿带中部盖层被剥露。

铜矿床为多期热液活动的产物。矿体及其围岩均遭强烈蚀变。蚀变带范围较宽。主要蚀变有绢云母化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化等。

据现有资料,矿体最大厚度达20余米,