

有色及贵金属矿田(床) 地球化学异常模式



中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所

一九八七年十二月

有色及贵金属矿田(床) 地球化学异常模式

中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所

1987年12月

前 言

七十年代以来，由于找矿难度增大，国内外对各种地质成矿模式和找矿模式的研究，特别是对地球化学异常找矿模式的研究，日益广泛和深入。本书是根据我国某些特有的有色及贵金属矿田（床）总结和建立的一些地球化学异常模式。

全书约45万字、附图154张，所包括的地球化学异常模式主要有：铜钼矿五个、铅锌矿三个、金矿三个、锡矿一个、钨矿二个、锑矿二个。其中有两个已经有大量工程验证，取得了良好的找矿效果；有六个通过验证后已开始取得找矿效果；还有四个有待验证。实践证明，这些地球化学异常模式，将为寻找同类矿田（床）、选择最佳化探方法和评价指标等，提供了有力的依据。同时，对于研究和促进地球化学异常模式及其理论的发展，以及对提高找矿效果和经济效益，都具有重要的意义。本书对于野外广大找矿勘探工作者及矿山、科研和教学部门，均有参考价值。

本书是在各有色和冶金地质系统一些单位提供资料的基础上，由欧阳宗圻、刘汉忠和李惠等同志修改编写而成；由张济民、张家璐负责编辑出版工作。

总结和建立地球化学异常模式是一项基础研究工作，也是一项全新的工作。由于我们水平有限，缺乏经验，不完善和错误之处一定很多，敬希读者批评指正。

1987年12月

目 录

前言.....	
绪论.....	(1)
铜钨矿床.....	(4)
一、广西两江铜矿地球化学异常模式.....	广西有色地质勘探公司 272 队 (4)
二、斑岩铜矿床地球化学异常模式.....	
.....	中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所 中国有色金属工业总公司矿产地质研究院 (19)
三、鄂东矽卡岩型铜矿床地球化学异常模式.....	
.....	中南冶金地质勘探公司 606 队 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所 (46)
四、河北寿王坟矽卡岩型铜矿床地球化学异常模式.....	
.....	华北有色地质勘探公司 519 队 (69)
五、陕西金堆城—黄龙铺钼矿田地球化学异常模式.....	
.....	西北有色地质勘探公司物探队 (86)
金矿床.....	(101)
六、山东招掖金矿带金矿床地球化学异常模式.....	
.....	冶金工业部物探公司物化探研究所 (101)
七、吉林夹皮沟地区金矿床地球化学异常模式.....	
.....	吉林有色地质勘探公司研究所及 604 队 (119)
钨、锡、锑 (钼铌) 矿床.....	(135)
八、云南个旧东部矿区锡-多金属矿床地球化学异常模式	
.....	西南有色地质勘探公司物探队 (135)
九、赣南脉状钨矿床地球化学异常模式.....	
.....	中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所 江西有色地质勘探公司二队 (156)
十、广西栗木钨铌钨锡多金属矿床地球化学异常模式.....	
.....	中国有色金属工业总公司矿产地质研究院 广西有色地质勘探公司 271 队 (182) 中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所

十一、湖南锡矿山锡矿床地球化学异常模式.....	湖南有色地质勘探公司物探队 (202)
十二、贵州独山半坡锡矿床地球化学异常模式.....	贵州有色地质勘探公司物化探队 (215)
层控铅锌矿床.....	(228)
十三、康滇地轴北段层控铅锌矿带矿田地球化学异常模式.....	四川冶金地质勘探公司 605 队 (230)
十四、湖南大乘山层控铅锌矿床地球化学异常模式.....	武汉地质学院北京研究生部地化研究室 冶金工业部物探公司 (249) 湖南有色地质勘探公司物探队
十五、内蒙狼山有色金属成矿带层控矿床地球化学异常模式.....	中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所 华北有色地质勘探公司第一物探大队 (286) 内蒙有色地质勘探公司三队

绪 论

(一)

七十年代以来,由于地表剥蚀出露的矿体日益减少,盲矿、掩埋矿已逐步成为主要找矿对象,找矿难度加大。为了提高找矿效果和经济效益,近一、二十年来,国内外对各种地质成矿模式及各种找矿模式,特别是地球化学异常模式找矿的研究工作,日益广泛和深入。

地球化学异常模式是一种找矿模式。它是对所研究的地质客体所产生的各种地球化学异常特征的概括。它是通过总结已知矿体、矿床、矿田的各种地球化学异常特征(包括原生异常和次生异常、元素组合的水平及垂向分带、异常的展布及发育等特征),力求反映出它们与各种地质客体(主要是矿)在空间、时间、成因上的关系,从而指出最优的方法以及各种找矿评价指标。尽管成矿的地质条件很复杂,且各有特点,但同一类型矿床多具有共性的内容,是可类比的。例如,斑岩铜钼矿床都具有一定的元素组合分带特点,因而这种异常模式具有指导异常评价的作用。又如,元素的轴向分带特征是寻找盲矿和判断矿体剥蚀程度的有效途径。虽然各个矿床元素分带组合不尽相同,但总的元素分带序列还是有一定规律的,特别是同类型矿床更是如此。对于次生地球化学异常模式,在不同的景观地球化学条件下,由于发育程度不同,因而工作方法也不同。但在同一种景观地球化学条件下,都具有共同的、特定的、相适应的以及最优的工作方法,并对方法的选择、投入具有指导意义。所以,进行地球化学异常模式的总结和研究,不仅是必要的,而且是可能的。当然,在应用这些模式时,要特别注意具体的条件,不能简单的盲目照搬,要密切注意矿床的控矿因素、成因类型、找矿标志的异同点,尽可能地搞清指示元素的主要载体,弄清其与矿体的关系及指示意义。

地球化学异常模式按其成因可分为原生地球化学异常模式和次生地球化学异常模式两类。原生异常模式是指主要由原生晕构成的特征,次生异常包括次生晕和分散流异常构成的特征。按其与被反映的地质客体的范畴,可划分为矿体、矿床、矿田、矿床系列等地球化学异常模式,各种模式的内容及其作用概述如下:

1. 次生地球化学异常模式:其主要内容是描绘在各种景观地球化学条件下,次生晕、分散流异常形成的可能性及其与矿体、矿床的空间关系、有效的取样介质和取样深度、异常的发育情况等。其主要作用是指明在某种条件下方法的有效性、所需采取的技术措施、以及评价预测指标。

2. 地球化学分带模式:这种模式的主要内容是描绘出元素的组合、比值、含量的垂直和水平分带特征,从而得出寻找这种盲矿体(矿床)和判断其剥蚀程度的有效指标。这种模式又可分为以下三类:

- (1)矿体水平和垂直分带模式。这是通过横切矿体的剖面,根据地表、钻孔、坑道原生晕取得的。

- (2)在上述模式的基础上,通过若干个剥蚀程度不同矿体的剖面即可总结概括出该矿

床地球化学分带模式(包括垂向分带以及不同剥蚀程度的水平分带)。

(3)在上述模式的基础上,可以通过若干个同类型或同一成因系列矿床地球化学分带模式,总结出一种类型矿床或一个矿床系列的地球化学异常分带模式。

3. 矿田地球化学异常模式:这种模式主要是通过区域性化探普查资料取得的。它的主要内容是反映一个矿田地球化学场的特征,包括矿田的区域和局部背景的变化,异常分布及形态特征,异常展布与构造或地层的关系,控制金属元素富集条件的变化等,其主要目的是了解寻找矿田的方法和控矿因素,指导靶区预测。

4. 构造地球化学异常模式:这种模式的主要内容是反映各种含矿构造异常的形态和展布特征以及由于成矿后构造破坏形成的异常特征。这种模式可以指明矿与构造的关系,指出下一步找矿方向。

上述各种异常模式主要用图件来表达,并辅以表格及文字材料。图件可以是反映两度空间的平面图、剖面图,也可以是反映三度空间变化特征的立体图。

地球化学异常模式的建立,都遵循从低级到高级、从简到繁、从点到面的原则。对于一个出露的矿体、矿点,首先可取得的是剥蚀出露矿体特征元素组合、原生异常及次生异常形态和发育特征的模式,可以指出寻找这种剥蚀出露矿体的指标和方法的合理摆布。随着工作程度的深入和工作量的增加,或者对一个已有工程控制的矿体,可得到不同剥蚀程度的矿体、矿床、盲矿体的异常模式和指标,并通过若干个同类型或同一系列矿床地球化学异常模式的总结,则能得出更确切指导意义的、更广泛的找矿评价指标、指出找矿方向。任何一种地球化学异常模式总是可以不断地得到补充、完善和充实的。

我国幅员辽阔,气候、地理、第四纪地质、植被等景观地球化学条件变化较大,针对我国特有的各种条件总结出的各种次生地球化学异常模式,是具有指导意义的工作。总结和建立我国各种类型的有色金属、贵金属地球化学异常模式,对指导异常评价、提高找矿效果和经济效益是一个重要途径。这些都应该属于基础性的工作,应大力推广和开展下去。

(二)

这份材料所包括的地球化学异常模式,包括铜铅矿(斑岩铜矿、鄂东砂卡岩铜矿、寿王坟砂卡岩铜矿、两江热液铜矿床、金堆城钼矿田),铅锌矿(康滇地轴北段层控铅锌矿田、大姚山层控铅锌矿床、狼山层控多金属矿床),金矿(招远金矿床、夹皮沟金矿田及矿床),锡矿(个旧热液锡多金属矿田及矿床),钨矿(赣南脉状钨矿床、栗木钼钨钨锡多金属矿床),锑矿(锡矿山锑矿田及矿床、半坡锑矿床)等矿种。其中除斑岩铜矿、鄂东砂卡岩铜矿为综合材料外,其它均系一个矿床(或矿田)的材料。每个模式一般包括下列内容:一般地质情况;各个层位(岩浆岩)微量元素丰度;主要指示元素在矿物(矿石)中的分配及其指示意义;矿体、矿床剖面原生晕(次生晕)异常特征;矿田与分散流(次生晕)异常特征;地表风化后主要金属元素贫化、富集情况;各种评价指标(包括异常评价及寻找盲矿指标,岩体、蚀变带、裂隙、硅化带等地质客体深部含矿性评价,判断剥蚀程度及矿化类型等各种评价指标);立体模式图;预测意见及验证结果。部分模式根据具体成因类型及已有资料,分别包括了包体测温及成分测定、硫同位素测定结果、对金属来源的分析、成岩成矿过程中常量和微量元素带入带出情况、对成矿成晕过程的初步认识等内容。这些模式资料均将为寻找同类型矿田(床)、选择

最佳化探工作方法以及各种评价指标提供依据，也提供了一些总结研究地球化学异常模式的思路和工作方法。

(三)

地球化学异常模式的总结研究工作，对我们来说是一项全新的工作，缺乏经验，加之我们的水平有限，因而这些模式只是初步的，不足之处有待进一步修改补充完善，这主要有：

1. 在这批模式中，每个矿种和成因类型所包括的矿床案例为数不多，因而除斑岩铜矿外都未能按矿种、按成因类型总结提出规律性的认识和评价指标，有待今后完善提高。

2. 由于各个矿区开展模式工作的时间不同，因而各个模式的深入程度不平衡，分析项目、方法也不尽一致，这对进行综合对比分析将带来一定困难。

3. 这批模式有两个已经大量生产检验。取得良好的找矿效果，有六个通过验证已开始取得找矿效果，还有四个有待验证。因此，对一些预测指标的准确性有待进一步的实践检验。

4. 由于对矿床研究程度以及现有试验室资料的限制，对成矿、成矿过程的讨论，不够深入、确切。

(四)

通过第一批地球化学异常模式的总结研究工作，我们感到今后应当开展以下四个方面的工作：

1. 应进一步扩大上述各类型矿床的案例，按矿种、成因类型进行总结，使评价指标更加准确。

2. 应加强矿田地球化学异常模式，特别是反应金属富集条件和环境模式的总结研究工作。

3. 从长远看，在已有模式的基础上，建立各种数学模式，以及结合地球物理、遥感资料建立综合找矿模式，都是今后值得进一步开展的工作。

4. 成矿和成矿是一个作用的两个方面，确切掌握成矿过程及控制因素，总结提出切合实际的成矿模式，将能有效地促进地球化学异常模式的总结研究工作。

本书的材料是在各单位所提供的各矿区地球化学异常模式资料的基础上，由欧阳宗圻、刘汉忠、李惠等同志分别修改编写完成的。

铜 钼 矿 床

一、广西两江铜矿地球化学异常模式

广西有色地质勘探公司272队

两江铜矿原是一个小矿点,1972年以来,我队与有关单位配合,在区内开展系统的化探工作,取得了良好的找矿效果。首先,利用Cu、Pb、Zn、Ag、As等元素做为指示元素,在寒武系地层出露区圈定含矿破碎带,扩大已知矿点规模,发现新矿带,迅速打开了两江铜矿的找矿局面,进而利用卤族元素F、I和Cu、Ni、As做指示元素,在矿区外围圈出泥盆系厚岩层覆盖下的含矿破碎带,进一步扩大了矿区远景。目前已有的地质勘探工作成果表明,本区为一中型规模的富铜矿。

本文阐述了矿区某些地球化学特征,包括各时代地层、岩石中微量元素的分配、矿体中元素组合和原生晕异常特征、指示元素在单矿物中的分配、蚀变-成矿作用过程中元素的地球化学特征、不同成矿阶段元素沉淀顺序和表生作用下指示元素的行为等,提出了两江铜矿地球化学异常模式、找矿指标和成矿预测及效果。

(一) 地质概况

两江铜矿位于广西山字型构造前弧两翼与南岭东西向复杂构造带复合部位,大明山箱状背斜西翼中段。区内出露地层,基底属寒武系水口群第五组,为一套浅变质的浅海相沉积巨厚层浅灰色砂岩夹页岩,其上部夹厚度不大的碳酸盐岩,并含一层厚8—9米、延长数百米的菱铁矿层。盖层为泥盆系莲花山组和高岭组,莲花山组与寒武系地层呈角度不整合接触。该组下部为灰白色石英砂岩,厚50米左右,见浸染状黄铜矿化,矿化层厚一到数米,含铜0.1—0.3%;上部为灰色泥质砂岩,厚80米左右。那高岭组为泥质砂岩夹泥质页岩,厚120—130米。矿区内由于盖层被剥蚀,寒武系地层裸露构成“天窗”。

矿区构造形迹为褶皱和断裂。褶皱构造呈东西向紧密线状排列,南翼较陡,轴面倾向北。1、2号矿带赋存在背斜南翼近轴部。断裂构造有东西向、北东向、北西向和南北向四组。前两组属压扭性断裂,是为本区主要控矿构造。在断裂两侧,常有平行或呈锐角斜交的次级裂隙和劈理发育,在成矿时形成细脉浸染带。北西组为压扭及张扭复合断裂,常见石英脉充填或变辉绿岩贯入。南北组属成矿后张性断裂。矿区出露的岩类主要为石英斑岩,其次为变辉绿岩。北部还分布有花岗斑岩和花岗闪长岩。此外,在个别深部工程中,还揭露到辉绿玢岩、黄铁细晶岩、玄武岩等。石英斑岩主要分布在2号矿带的中心部位,呈岩墙、岩脉状成群产出,走向北东,绝对年龄测定为 236×10^6 年,属海西期产物,在矿体附近,斜长石全部被绢云母、高岭石所交代,目前多数地质工作者认为它不是成矿母岩。

两江铜矿床赋存于寒武系地层中,每个矿带一般由若干个呈侧幕排列的、厚度米到近20米

的矿体组成。矿带严格受东西及北东向断裂控制。矿物组分主要有黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、毒砂，其次为磁黄铁矿、白铁矿、黝铜矿、车轮矿、银金矿、辉钼矿、方铅矿、辉砷钴矿、铜蓝等。脉石矿物为石英、白云石、方解石。围岩蚀变有硅化、绢云母化、高岭石化、绿泥石化和碳酸盐化等。矿床属中-高温热液破碎带石英硫化物细脉浸染型矿床。

(二) 矿床的某些地球化学特征

1. 不同地层岩石中微量元素的分布

研究不同地层、岩石中微量元素的分配特征，对于确定地球化学异常下限，研究蚀变-成矿作用过程中元素的带进、带出、活化、转移规律等，具有重要意义。

表1-1是采集的远离矿体的不同地层、岩石样品，并经鉴定是未蚀变样品的分析结果。这些资料表明，本区不同地层、不同岩石元素背景含量是有差异的。

在寒武系地层中，高于克拉克值的元素有Pb、Zn、Ag、As和K₂O（其中As高38倍），接近的有Cu、Mo、Co，低的有Mn、Ni、F、I和Na₂O。

表1-1 两江铜矿地层中微量元素含量 (几何平均值, 单位ppm)

地 层	岩石名称	Cu	Mo	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	As	Mn	K ₂ O	Na ₂ O	F	I
ε ₁	泥质砂岩	22.4	4.3	78.9	152.7	0.305	38.5	19.4	8.25	103.6	4.97	0.097	792.6	0.427
	页岩	63.5	"	44.8	152.7	0.335	68.6	27.5	55.6	293.6	5.78	0.447	409.4	0.508
ε ₂	泥质砂岩	29.0	"	25.7	67.8	0.226	25.2	17.0	185	508.1	3.15	0.772	128.2	0.378
	页岩	55.8	"	31.0	222.0	0.359	81.0	28.6	86.6	622.6	4.50	0.910	261.5	0.545
ε ₃	泥质砂岩	44.1	"	18.4	100	0.668	42.2	20.0	58.6	798.8	3.30	0.805	136.4	0.457
	页岩	27.1	8.83	48.2	119.3	0.1	53.9	24.5	45.2	318.4	6.53	0.508	432.9	0.363
ε ₄	泥质砂岩	76.6	4.3	24.7	86.5	0.132	40.9	18.7	51	937.6	2.76	1.066	159.8	0.289
	页岩	60.5	"	39.3	168.2	0.322	40.5	28.4	53.7	624.6	4.67	0.477	261.3	0.154
ε	泥质砂岩	43.5	"	36.4	89.3	0.189	30.6	19.0	72.1	805.0	3.53	0.670	175.2	0.336
	页岩	51.2	"	41.3	165.6	0.287	54.0	25.3	56.4	445.8	5.35	0.558	341.3	0.319
ε ₅		35.4	"	60.0	152.7	0.319	48.3	23.0	67.6	576.0	5.33	0.272	348.1	0.485
ε ₆		39.1	"	26.9	91.4	0.254	31.4	19.4	100	430.0	3.49	0.806	83.2	0.383
ε ₇		36.7	2.24	27.8	72.6	0.080	45.9	22.3	51.5	537.1	4.69	0.516	225.8	0.463
ε ₈		70.1	4.3	29.4	111.3	0.233	40.7	18.3	52	805.1	3.48	0.808	192.1	0.186
ε		48.3	1.69	36.0	107.0	0.215	41.8	21.0	85.7	586.8	4.25	0.600	228.8	0.379
D ₁ L	石英岩	60.8	4.3	13.5	100	0.093	9.2	5.7	69	67.2	0.55	0.098	450	0.151
	泥质砂岩	103.0	"	29.0	"	0.280	48.0	28.0	158	210.0	4.40	0.878	140.9	0.188
D ₁ m	页岩	105.1	"	8.9	"	0.163	46.9	15.4	30.0	165.8	6.850	0.119	277.4	0.188
	泥质砂岩	34.0	"	12.3	70.9	0.83	32.8	12.1	26	115.0	2.87	0.07	88.0	0.345
D ₂ y	页岩	24.0	"	11.0	100	0.21	39.0	13.0	25	103.0	5.00	0.87	150.0	0.428
	石英岩	15.0	"	4.10	"	0.140	4.10	4.10	25	143.5	0.53	0.055	45.0	0.227
D ₂ y	粉砂质泥岩	100.0	"	45.0	120.0	0.180	41.0	15.0	25	360.0	4.00	0.10	80.0	1.300
	页岩	34.0	"	12.2	53.5	0.106	12.3	5.7	25	50.7	6.04	0.145	185.8	1.493
D ₃ L		75.5	4.3	13.4	100	0.114	14.3	7.63	63.9	88.1	2.01	0.068	46.3	0.857
D ₃ m		32.4	"	12.1	67.4	0.160	33.6	12.2	25	115.2	4.03	0.87	54.9	0.355
D ₃ y		25.4	"	18.8	55.1	0.173	10.7	5.8	25	71.2	4.71	0.123	117.9	0.97
绿 帘	砂岩	X	0.2	7.0	15.0	X	2.0	0.3	1.0	11.0	1.07	0.350	270.0	1.708
维 氏	页岩+粘土岩	57.0	2.00	20.0	60.0	0.1	95.0	20.0	6.6	870.0	2.28	0.66	500.0	1.888
	克拉克值	47.0	1.10	18.0	83.0	0.07	50.0	18.0	1.7	1000.0	3.81	3.38	660.0	0.480
全 区	泥质砂岩	50.0	4.3	26.3	79.0	0.181	37.7	18.9	78.8	430.3	3.78	0.390	134.2	0.292
全 区	页岩	53.8	1.72	26.0	96.7	0.199	40.5	17.2	45.9	228.5	5.19	0.263	267.8	0.383
全 区	石英岩	29.5	4.3	8.2	100	0.115	8.8	5.4	47	95.0	0.54	0.056	458	0.185

泥盆系莲花山组(D₁l)高于克拉克值的元素有Cu、Ag、As, 接近的有Mo、Pb、Zn, 低于的有Co、Ni、Mn、K₂O、Na₂O和F、I。那高岭组(D₁n)高于克拉克值的有As、Ag和K₂O, 接近的有Mo、Pb、Zn、I, 低于的有Cu、Ni、Co、Mn、F、Na₂O。郁江组(D₁y)高于克拉克值的有Ag、As、I和K₂O, 接近的有Mo, 其它元素均低于克拉克值。

与地壳中同类岩石元素丰度值比, 寒武系地层砂岩低F、I, 高Pb、Zn、Ni、Co、Mn、As和K₂O、Na₂O, 其中As高72倍、Co高63倍、Ni高18倍、Zn高6倍; 页岩低, 其它元素均偏高几倍—几十倍。泥盆系砂岩高Pb、Zn、Zi、Co、Mn、As, 其中As高45倍、Co高49倍、Mo接近; 页岩仅As高, Mo、Ag接近, 其它元素偏低。

寒武系地层与泥盆系地层比较, 寒武系地层Pb、Zn、Ag、Ni、Co、Mn、As、F含量高, Cu、Mo、I接近。

不同岩性元素丰度的差异是: Cu、Zn、Ag、Ni、Co、F、I在页岩中含量>泥质砂岩中含量>石英砂岩中含量。Pb、Mn、As元素则表现为泥质砂岩中含量>页岩中含量>石英砂岩中含量。

F在岩石中含量的高低与岩石中泥质成分多少有关。泥质成分高(如页岩), F含量高; 硅质成分高(如石英砂岩), F含量低, 二者差一倍以上。通过镜下鉴定了解到, 本区泥质砂岩、页岩经区域变质形成了大量的绢云母, 泥质砂岩一般含绢云母10—40%, 泥岩、页岩含绢云母80%以上。挑选泥质砂岩中的绢云母(纯度为80%左右)分析F, 含量达135 ppm, 占全岩样F含量的90%以上。这一事实说明, 地层背景样中F的携带矿物主要是区域分布的绢云母。应该指出的是, 本区岩性不同, 能引起F含量的成倍差异。因此, 在评价异常时, 要注意排除这种因素所造成的区域背景异常的影响。

2. 指示元素在单矿物中的分配

从1、2、3、4、5矿带及其附近所挑选的黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、菱铁矿、黝铜矿、绢云母、石英、长石等11种矿物共72件样品, 分析Cu、Pb、Zn、Mo、Co、Ni、Ag、Mn、As、S、F、I等元素, 结果见表1—2。从表中可看出, 指示元素在单矿物中的分配特点。

Cu形成黄铜矿、黝铜矿、铜蓝等独立矿物。此外, 在黄铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂中, Cu含量可达 $n \times 10^3$ ppm; 在方铅矿、绢云母、菱铁矿中含 $n \times 10^2$ ppm; 在石英、长石中含量很少, 仅 $n \times 10$ ppm。

Pb形成方铅矿、车轮矿独立矿物。此外, 黝铜矿、闪锌矿中Pb达 $n \times 10^3$ ppm; 磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂中含 $n \times 10^2$ ppm; 在绢云母、菱铁矿、石英、长石中含 $n \times 10$ ppm。

Zn形成闪锌矿独立矿物, 在黄铜矿、磁黄铁矿、黝铜矿中也有富集, 含量达 $n \times 10^3$ ppm, 在其它矿物中达 $n \times 10^2$ 或低于100 ppm。

As独立矿物为毒砂。在黝铜矿、辉砷钴镍矿中含As较高, 前者达 >1200 ppm, 在其它矿物中也分散存在, 含量 $n \times 10^2$ ppm。

Mo未发现其独立矿物, 除黝铜矿含Mo 9.5 ppm外, 其它矿物含量很低。

Co、Ni形成辉砷钴镍矿、锑硫镍矿、红锑镍矿等矿物, 富集Co、Ni较多的矿物还有黝铜矿、磁黄铁矿(>3000 ppm), 其它矿物含量低, 在 $n \times 10 - n \times 10^2$ ppm。

Ag形成银金矿独立矿物, 在其它金属矿物中含量普遍较高(>10 ppm)。

F主要赋存在绢云母中, 高达1780 ppm, 是F的主要携带矿物, 在长石中含量也较高。

I 主要赋存于黄铁矿中，其次是磁黄铁矿，其它矿物含量甚低。

综上所述，本区Cu元素除形成独立矿物的黄铜矿、黝铜矿外，在磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、毒砂等共生矿物中，都有较高的富集。而黄铜矿，特别是黝铜矿，几乎含所有指示元素，包括Cu、Pb、Zn、Ag、As、Mo、Co、Ni等，比其它矿物都富集，可直接指示矿体。

表1—2 两江铜矿单矿物中微量元素含量

(γ/g)

矿物	样品数	元素 (几何平均值)												S%
		Cu	Pb	Zn	As	Mo	Ag	Co	Ni	Mn	F	I	Cl	
黄铜矿	28	>10000	116	9176	200	5	>10	81	307	20	126	0.79		38.46
黄铁矿	9	1012	691	282	590	6	■	101	356	40	218	23		50.48
方铅矿	5	846	>10000	213	423	<3	■	90	206	9	795	0.51		14.68
闪锌矿	7	2725	1513	>10000	230	2.6	■	150	24	792	92	1.05		34.94
磁黄铁矿	1	9478	879	4789	800	<8	■	>3000	4500	190	135	10.10		39.90
毒砂	4	2077	491	856	>1200	4	■	871	1558	13	140	1.18		24.13
绢云母	2	233	52	238	110	<3	0.28	24	45	491	1783	2.35	1.18	0.61
菱铁	2	166	13	259	243	3	7.2	191	204	>10000	365	0.54	<1	1.02
黝铜矿	1	5600	3114	1150	>1200	9.5	>10	>3000	>10000	25	160	0.51	<1	22.28
石英	12	13	27	<100	41	<3	0.4	<10	<10	22	114	0.47		0.02
长石	1	52	17	■	50	■	3.2	■	■	210	570	0.34	<1	1.23

3. 蚀变-矿化作用过程中指示元素的地球化学特征

两江铜矿的成矿作用，使矿体围岩产生硅化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化、碳酸盐化等蚀变。近矿围岩蚀变主要是硅化、绢云母化，稍远离矿体为高岭土化，具一定的分带现象。其中绢云母化和高岭土化是在热液作用下，长石被绢云母、高岭石交代形成，地质工作者称之为“长石消失带”，是本区的一项重要找矿标志。在蚀变作用过程中，指示元素在围岩中的迁移特点如图1—1—1所示，可归纳为：

(1) 页岩经硅化-绢云母化-碳酸盐化后，带入Cu、Pb、Zn、Ag、As、Ni、Mn、F、Si₂O₃、P₂O₅、CaO、K₂O/Na₂O增高，带出Fe₂O₃、FeO、TiO₂、Al₂O₃、Na₂O、MgO。

(2) 砂岩蚀变后带入Cu、Zn、Ag、Ni、Co、Mn、F、SiO₂、K₂O、MnO、P₂O₅、CaO、K₂O/Na₂O增高，带出Na₂O、Fe₂O₃、FeO、TiO₂、MgO、Al₂O₃和Pb，I变化不大。

(3) 石英斑岩随蚀变强度的增强，Cu、Pb、Zn、Co、F、SiO₂、K₂O、P₂O₅、MgO、TiO₂、CaO以及K₂O/Na₂O增加，Fe₂O₃、FeO、Na₂O和Ni减少。

上述表明，在蚀变-矿化作用过程中，Cu、Zn、Ag、Co、Ni以及F、K加入围岩成晕。同时，随着蚀变强度的增强，上述元素加入围岩的量增加，说明在成矿作用过程中，Cu与Ag、Zn、Co、Ni、As、S、K和F是同迁移、共沉淀的，从而产生本区Cu与Ag、Zn、Co、Ni、As、F、K等元素的密切相关关系。

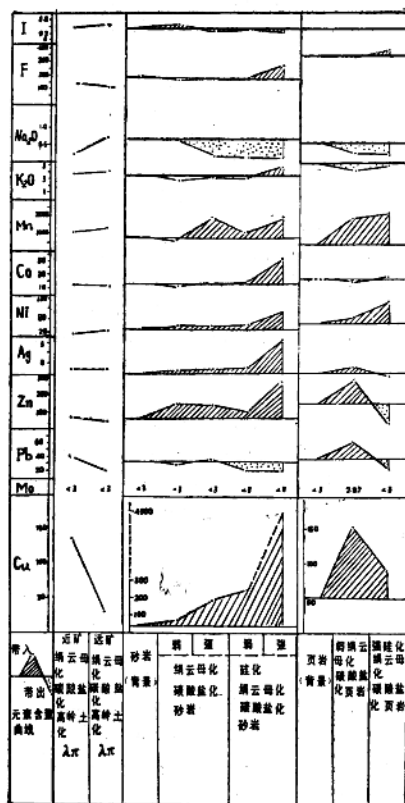


图1—1—2 两江铜矿不同蚀变带元素带进、带出特征

前曾指出, 本区地层背景中F的携带矿物是绢云母。从正常泥质砂岩和蚀变泥质砂岩分析结果对比, 正常泥质砂岩含F115ppm, 蚀变后达260ppm。若正常泥质砂岩中的绢云母含F135ppm, 蚀变泥质砂岩中的绢云母含F345ppm, 则围岩经热液蚀变作用后, F仍主要进入绢云母中。由于F具亲石性, 外层电子有七个, 极易获得一个电子形成稳定八电子壳层呈 F^- , 加之F的负电性(为4)大于氧(为3.5), 而能永远保持呈 F^- 。 F^- 的半径(1.33 Å)与 $[OH]^-$ 的半径(1.4—1.6 Å)相近, 二者键性也相似, 故 F^- 能以类质同象方式置换 $[OH]^-$ 进入含 $[OH]^-$ 矿物——如绢云母($2KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$)、高岭土($3Al_2[Si_2O_5][OH]_4$)等矿物的晶格中。本区围岩中的绢云母, 部分是经区域变质产生的, 后经蚀变作用, 岩石中的斜长石被绢云母、高岭石交代, 围岩中的绢云母又有增加, F含量升高。因此, 对F晕的形成机理可认为是:

(1) 由于区域变质作用, 使岩石产生含F绢云母, F的含量为 $n \times 10^2$ ppm。泥质成分高的岩石比以硅质成分为主的岩石, F含量高一倍左右。

(2) 在成矿热液活动中, F与Cl等卤族元素是金属元素的重要携带剂, 很多金属元素与其形成络合物, 在液相状态下沿导矿构造运移。由于F的化学活泼性和挥发性强, 当物理、化学条件改变, 金属矿物大量沉淀之后, F仍以 $HF \cdot BF_3$ 或 SiF_4 形式继续往前迁移, 遇到含 $[OH]^-$ 矿物, F^- 即置换 $[OH]^-$, 以类质同象方式混入其晶格中, 并在矿体上盘上方形成与成矿作用有关的次级异常。

4. 不同成矿阶段元素的沉淀顺序

整理有关单位在两江铜矿进行的数十个硫同位素(黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿)测定结果, 发现 $\delta^{34}S$ 平均值为+2.39‰, 介于陨石硫($\delta^{34}S \rightarrow 0\%$)与地壳岩石圈平均值($\delta^{34}S$ 为+4‰)之间, 说明成矿物质来源于地壳深部, 即相当于地壳硅铝层混合岩浆。此外, 还发现硫同位素变化范围较窄(+0.8—+3.7‰), 绝对差不超过3‰, 具热力学效应造成的塔式分布规律, 说明矿床属岩浆期后热液矿床。

根据矿物的共生组合、相互交代、穿插关系, 把两江铜矿划为五个成矿阶段。现结合单矿物分析结果, 对不同成矿阶段元素的晶出顺序(图1—2)叙述如下:

(1) 高温(321℃)无石英英阶段, 主要见于北西向断裂, 基本上没有成矿元素和伴生元素晶出, 仅围岩有不同程度的硅化。

(2) 高中温(315—275℃)含铜石英阶段, 见于东西向断裂, 是本区成矿元素最早晶出阶段, 但矿物组合简单, 主要有黄铜矿、黄铁矿、白铁矿及少量的闪锌矿。元素组合为Cu、Zn、S、Co, 其次为As, 围岩具硅化、绢云母化、高岭土化和碳酸盐化。

(3) 高中温(315—275℃)硫化物阶段, 主要见于东西向断裂, 是黄铜矿主要晶出阶段, 共生矿物复杂, 有磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、黝铜矿、锑硫镍矿、车轮矿、闪锌矿、辉砷钴镍矿、银金矿等。元素组合最全, 包括Cu、S、Ag、As、Co、Ni、Zn、Mo、Pb、Sb、F、I。围岩蚀变与含铜石英阶段相同。

(4) 中温(236—190℃)多金属阶段, 见于东西、北东向断裂。主要矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿和红锡镍矿、菱铁矿等。元素组合有S、Zn、Pb、Cu、F、I, 其次为Ag、Ni、As。围岩蚀变基本同前。

(5) 低温无矿碳酸盐阶段, 主要晶出方解石、白云石, 金属元素很少。

5. 找矿指示元素原生晕异常特征

两江铜矿属高-中温热液细脉浸染型硫化物矿床，经历多阶段成矿，矿物组分复杂。经对矿石取样分析，发现矿体元素组合除成矿元素Cu外，具异常含量的还有Pb、Zn、Ag、As、Co、Ni、Mo和F、I等。

通过计算元素间的相关系数，表明Cu元素除与Pb、(Na₂O)不相关外，与Co、Ni、Ag、Zn、S、F、(I、K₂O)都成正相关关系，尤以与Co、Ni、Ag关系最密切。无疑这些元素可以作为找矿指示元素。

成矿阶段		无矿石英	含铜石英	硫化物	多金属	无矿碳酸盐
形成温度(°C)		321	315—275		236—190	
赋存主要构造		NW	EW		NE (EW)	
成矿及伴生元素	Cu					
	Mo					
	Pb					
	Zn					
	Ag					
	Co					
	As					
	Ni					
矿元素	S					
	F					
	I					
	K					
	Si					
金属矿物	黄铜矿					
	黄铁矿					
	磁黄铁矿					
	毒砂					
	辉铜矿					
	闪锌矿					
	方铅矿					
	辉砷钴矿					
	辉钼矿					
	银金矿					
脉石矿物	石英					
	方解石					
	白云石					
	菱铁矿					
	白云母					
	绿泥石					
各阶段元素组合	主	Si	Cu S Co Zn	S Cu Co Ni As F Ag	S Cu Pb Zn F I	
	次		As	Sb Mo Pb Zn I Hg	As Ag Ni	
各阶段矿物组合	主		黄铜矿 黄铁矿 白铁矿	黄铜矿 磁黄铁矿 毒砂 辉铜矿 辉砷钴矿 辉钼矿	黄铜矿 黄铁矿 白铁矿 闪锌矿 毒砂 方铅矿	
	次		闪锌矿 (少)	方铅矿 闪锌矿 黄铁矿 白铁矿 银金矿	毒砂	
	主	石英 白云石	石英 白云石	石英 白云石 白云母	石英 白云母	白云石 方解石
	次		绿泥石	方解石	方解石 绿泥石	

图1—2 不同成矿阶段元素沉淀顺序及其矿物共生组合关系

从图1—3、1—4可以看出,上述元素在矿体及其周围能形成一定浓度的异常晕带。其特点是:

由于矿床严格受断裂破碎带控制,原生晕的形成以渗滤作用为主,侧晕不发育,异常展布可追踪含矿断裂展布,晕的形态一般呈线状、条带状。仅在两组不同方向的含矿断裂交汇处,或主断裂旁侧裂隙、劈理发育及矿体变厚地段,原生晕异常才相应的向横向膨胀,改变线状形态。当矿带中的若干个矿体呈侧幕排列或平行排列时,部分元素(如Cu、Pb、Zn、Ni等)异常亦呈线状、条带状,并呈侧幕或平行展布;部分元素(如F、I、As等)由于平行矿体的外带晕,并互相连接形成较为宽阔的带状异常。

从图1—3可明显看出,各元素异常重合性很好,基本呈同轴展布。但异常范围大小和浓度却不尽相同。Pb和Zn渗滤距离最短,晕的范围接近矿体范围,出了矿体就没有异常反映。其次是Ni、Co、Mo、Ag,在越过矿体尖灭部位后仍有一定的分散晕。Cu、As、F、I等元素渗滤距离最远,在100—200米厚的莲花山组厚岩覆盖情况下,还能沿断裂或穿过盖层,在地表形成异常。以元素的异常下限值的 2^0-2^1 、 2^1-2^2 、 $>2^2$ 倍来划分异常浓度外、中、内带。一般外、中带异常完整,Cu元素内带晕亦完整;As、Ag具内带晕,但不连续;Ni、Co、Mo只具内带含量点异常;而Pb、Zn等元素无内带晕反映。

6. 指示元素的表生地球化学特征

矿区地处亚热带,气候温暖、潮湿,雨量充沛,属中高山区,地形高差大,海拔由300米到1050米,为中青年切割期,V型山谷明显,山坡角度一般达30—70°;植被发育,寒武系地层出露区和矿区东部为原始森林区,腐殖层发育,泥盆系盖层上,灌木和蕨类丛生。浮土厚度在矿区各地段差异较大,“天窗”内一般0.5—2米,A、B、C层完整。矿区东部B层不发育,A层下面常常是碎石层。对土壤pH值进行测定,自西向东,象头山西坡为4.7、象头山顶为4.6、东部六毛峰为4.4,呈现自西向东降低的趋势;矿区裂隙水pH值在5.5左右,流经矿体地下水为4.5,穿过矿区的大水沟水为6,说明本区为弱酸性表生环境。

在上述景观地球化学条件下,指示元素表生行为各有不同,综合本区土壤断面元素分布资料看出,Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Mo为C层含量>B层>A层。As、F在A、B层含量>C层。

I比较特殊,在B层含量最高,如8号槽统计,A层平均12.3ppm、B层平均17.5ppm、C层平均8.8ppm,风化基岩2.8ppm,各层之间差异明显。

从元素在土壤中的富集粒度来看,金属元素在较粗粒(120—80目)土壤中的含量高于较细粒(160—<160目)土壤。而F、I则相反,在较细粒土壤中含量较富。

在表生作用下,由于各元素的化学性质不同,其富集、贫化趋势差异较大(表1-3)。Zn、Cu、Co、Ni富集系数小于1,说明这些元素在表生作用下贫化、流失;Mo、Pb、F趋于平衡,As、I表现为富集。尤其是I富集系数达5.7,在B层含量更高,富集系数达6.4。

I的次生富级,特别在B层土壤中具高含量的现象,可作如下解释:土壤中I的来源有四个,即原岩风化、大气降水、生物或有机质直接从大气中吸收、深部矿体及其周围的I不断挥发补给。其中原岩风化、大气降水,特别是大气降水,是使土壤I背景普遍升高的原因;其它两种来源,则会使局部地段I含量增高,如矿区东部六毛峰森林区,腐殖质含量普遍增高,相应壤中I背景也高,而象头山地段I背景约比六毛峰低一倍。实际资料表明,一定背景上高一级的I异常和含矿构造相一致。由此推测,深部矿体及其周围的I,在成矿后仍不断活化,以气体形式沿断裂上升。因为I的负电性(2.6)低于氧(3.5),在氧化环境下,