

260-266

## 长江中下游地区地质异常与成矿

吕新彪 赵鹏大 姚书振

(中国地质大学资源学院, 武汉, 430074)

**内容提要** 笔者运用地质异常理论和方法,对长江中下游地区沉积、构造和岩浆岩异常的类型及特征进行了定性和定量分析。研究表明,沉积异常是导致矿床层控性的主要因素;地壳升降运动产生的升降异常带为成矿提供了有利的含矿建造;构造复杂度异常控制了铜铁金矿床的空间定位和分带;中生代岩浆岩的异常演化是铁、铜元素从岩浆中分离,并富集成矿的必要地质过程;岩浆岩的时空分布异常制约着铁铜金矿带的时空结构;地质组合异常是反映多种地质因素组合的成矿有利程度的综合变量,可作为矿产定量预测的评价指标。

**关键词** 地质异常 铁铜金矿床 矿产分布 定量预测 长江中下游

地质异常是在成分、结构、构造或成因次序上与周围环境有明显差异的地质体或地质体组合<sup>[1]</sup>。地质异常分析就是从各种地质因素及其组合特征(几何、时间、空间和结构的特征)的变化性出发,考查地质作用及其产物的异常特征,及其对矿产形成和时空分布的特殊影响。

长江中下游地区曾经经历了长期复杂地质运动。它本身是欧亚大陆板块内部的一个巨型区域性地质异常<sup>[2]</sup>。进一步考查研究该地质异常内部的地质场结构,不难发现一系列次级地质异常。根据这些地质异常的性质及其形成的地质作用,可将其划分为沉积异常、构造异常和岩浆岩异常等几大类。它们对本区铁、铜、金矿产的形成和分布起了至关重要的制约作用。本文拟重点讨论地层、构造、岩浆岩及综合地质异常的时空分布及其控矿特征。

## 1 地质背景

长江中下游地区地处华北地台与扬子地台之间的下扬子拗陷带内。区内基底岩系具双层结构,下部是以大别群为代表的深变质岩系,上部是以宿松群、张八岭群为代表的浅变质岩系。盖层岩系由震旦系至第四系组成,除中、下泥盆统缺失外,其它各时代地层基本齐全<sup>[3]</sup>。

区内构造主要是中生代以来多期构造运动形成的网格状断裂、褶皱构造体系。褶皱构造大体分为两套系统:印支期的弧形褶皱系统和叠加于其上的燕山期 NNE 向的褶皱系统。断裂构造有多组方向,时代上有多期性,尤其燕山期断裂的强度和密度较大。按照断裂的规模和切割深度,又可将其分为岩石圈断裂、基底断裂(或称为壳断裂)、盖层大断裂和一般断裂等四级<sup>[3]</sup>。它们纵横交错,构成一套复杂的断裂网格。

本区主要发育中生代燕山期壳幔同熔型岩浆岩<sup>[4]</sup>。其中侵入岩沿狭长的长江河谷地带成带成群分布。而火山岩主要分布于沿江及其两侧的中生代断陷火山岩盆地中。

## 2 沉积异常

注:本文得到国家教委博士点基金项目(编号 5449104)资助。

本文 1997 年 10 月收到,1998 年 1 月改回,章雨旭编辑。

本区盖层中不同时代沉积岩岩石化学成分、性质、岩层厚度和岩性组合等变化较大,存在多种类型的沉积异常。根据本区目前已探明的铁铜金多金属矿产储量在地层中分布的统计资料,主要赋矿层位为石炭系、二叠系、下一中三叠统和下白垩统火山岩系。矿床分布表现出明显的“层控性”特点。这主要与下述几种沉积地层异常有关。

**地层成矿元素的初始富集异常** 据区内地层中主要成矿元素丰度的统计分析,Cu、Fe、Au 等的浓集系数在一些反映区域构造运动的地层构造面附近表现出明显的正异常<sup>[1]</sup>,相应层位与主要赋矿层位基本一致。表明构造运动和沉积环境的变化,引起了沉积岩层中某些化学元素的异常聚集。这种异常性聚集为中生代以后的热液成矿提供了部分成矿物质。

**地层化学性质异常** 研究表明,长江中下游地区内生金属矿床对围岩岩性有一定的选择性。几个主要赋矿层位或有含膏盐层存在,或发育有同生沉积的黄铁矿层。如中石炭统下部白云岩中和下三叠统大冶群及中三叠统蒲圻群中含膏盐层;而中石炭统黄龙组白云岩底部含黄铁矿层<sup>[4]</sup>。这些含有特殊组分和化学性质的岩层,对后期成矿热液中铁、铜元素的富集、迁移和沉淀起了十分重要的作用<sup>[5]</sup>。

**沉积间断面** 沉积间断面是反映沉积环境变化的重要标志。其上下岩层的岩石物理性质和化学性质、结构构造等往往有比较大的差异,当受区域构造应力作用而被横向挤压或拉伸时,间断面易发生滑脱剥离,形成褶皱虚脱空间及层间破碎带,为含矿岩浆的侵位及矿床(体)就位提供十分有利的储岩储矿空间。本区盖层中主要沉积间断面有 C<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>w、P<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>-P<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub> 以及 J<sub>1</sub>-J<sub>3</sub> 等。其中以 C<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>w 和 T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub> 间断面最为重要,区内许多中一大型铜、金、硫铁矿床的空间定位与之密切相关。

**岩性组合异常** 铁铜金热液矿床的形成条件往往有类似油气生储盖的特点,表现在矿床产出对地层岩性组合的依赖关系。笔者采用相对熵来定量表示这种关系。相对熵是信息论中度量信息量的一种综合变量,它反映复杂系统组成的相对不确定性,可用于表示地质变量组合特征的复杂程度<sup>[6]</sup>。其计算公式如下:

$$H_i = - \sum_{j=1}^p \left[ \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \right] \cdot \log \left[ \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \right] \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p)$$

式中  $p$  为变量数,  $n$  为样本数,  $X_{ij}$  为第  $i$  个样本第  $j$  个变量的值。将本区 1:50 万地质图以 15 × 15 km<sup>2</sup> 为单元进行网格化,共划分 377 个单元,取每个单元中不同岩性岩石的面积值,用相对熵的方法来求地层岩性组合相对熵(简称岩性组合熵),以反映地层岩性组合的复杂程度。设以所有单元的地层岩性组合熵的平均值(=0.43)与标准差(=0.22)之和为组合熵异常下限,则可圈出地层组合熵异常图(图 1)。由图可知,区内大多数大一中型铜金矿床位于异常范围之内,表明对于铜(金)矿床,尤其是大型铜(金)矿床的形成,多种岩性组合是一个重要的有利条件。这一规律与地质事实符合,例如,武山、城门山、铜官山、狮子山等大型、超大型铜(多金属)矿床都有十分有利的岩性组合。铁矿床对岩性组合的要求与铜金矿床不同,大一中型铁矿均在异常之外,说明其对岩性的要求较为单一。

**沉积相异常带** 本区许多大型含铜黄铁矿型矿床都产在石炭纪威宁期黄龙组白云岩段与底部碎屑岩段之间,层位在区域上较稳定,矿体多呈层状、似层状,产状与围岩一致。经前人研究证实,该层位存在一个不连续的同生沉积黄铁矿层,是一个重要的矿源层<sup>[4,7]</sup>。控制此矿源层的主要因素是岩相古地理异常带;水下隆起潮坪相与拗陷浅海盆地相之间的过渡带。而该异

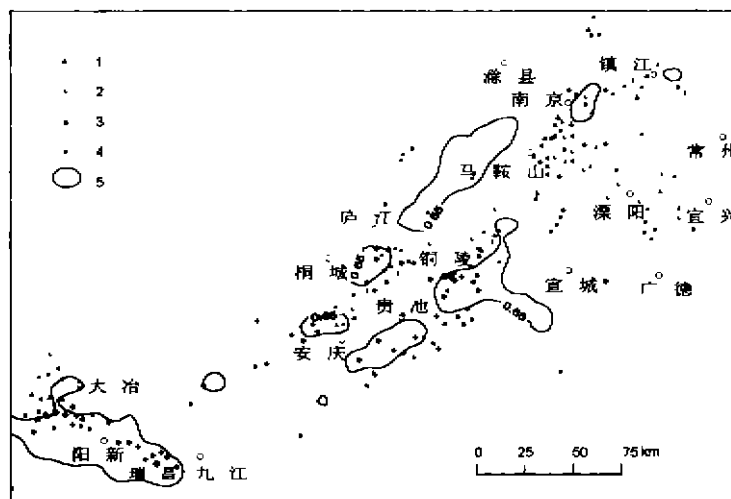


图1 长江中下游地区地层组合熵异常图

Fig. 1 The anomaly map of strata combination entropy in the middle-lower reaches of the Yangtze River

1—中—大型铁矿床; 2—小型铁矿床; 3—中—大型铜金矿床;

4—小型铜金矿床; 5—异常范围

1—Large—medium iron deposit; 2—small iron deposit; 3—large—medium

Cu-Au deposit; 4—small Cu-Au deposit; 5—anomaly boundary

1:50万长江中下游网格化地质图上,根据各单元不同构造(亚)层中不同时代(系)的沉积地层厚度,采用地壳升降系数法<sup>[1]</sup>求出相应构造旋回的地壳升降系数(G),并以升降系数平均值为异常下限,作出异常等值线图。结果发现,地壳升降过渡带或沉降异常地带对成矿作用有特殊意义,这些异常地带实际上是地壳变化强烈的地段。例如海西旋回,地壳总体北升南降,在中部形成由若干沉降中心及水下隆起组成的升降过渡带,与此旋回有关的同生沉积铜金成矿系列主要分布于该过渡带中(图2);印支旋回,本区地壳南北两侧抬升,中部沿江一带大幅沉降,形成了巨厚浅海碳酸盐相建造,其内丰富的成矿物质和有利的赋矿条件为后期成矿奠定了基础。后期赋矿的含膏盐建造主要分布于东西两个沉降异常中心(图3)。

**构造复杂度异常** 构造是铁铜金矿床形成的主导控矿因素。以各级断裂和褶皱构造为主体构成的带状网格构造系统,直接控制了不同层次岩浆—成矿带的形成和展布。网格构造中的致矿异常部位主要是结点及其附近,大多数已知铁或铜金矿田均受网格结点的制约。而网格结点实际上是多种构造因素的复合部位。为了定量地表述出构造诸因素组合异常对成矿的影响,本文构置了构造复杂度综合变量。具体计算方法是,先在1:50万网格化地质图上,取每个单元中断裂的条数、总长度、断裂交点数、褶皱轴条数及褶皱与断裂交点数等5个统计变量,列成变量值表,对所有变量进行均一化,并以下式计算构造复杂度:

$$C_k = \sum_{i=1}^p q_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, p; k = 1, 2, \dots, n)$$

式中  $C_k$  为第  $k$  个单元的构造复杂度,  $p$  为变量数,  $q_{ik}$  为第  $k$  个单元第  $i$  个变量取值。以构造复

常带明显受生长断裂控制。生长断裂不仅控制其两侧相带的展布、沉积厚度和海底古地貌,形成岩相变化异常带,而且其本身就是海底火山喷发、喷气和含矿热流体上升的通道,有明显地热异常,同时也是地球化学和水文学上的障壁系统。与此有关的黄铁矿层断续分布与生长断裂的火山喷发或喷流口的空间位置有关<sup>[7]</sup>。

### 3 构造异常

#### 地壳升降演化异常 加里

东、海西和印支3个旋回,构造运动以升降振荡为主,这种振荡运动的异常变化不仅控制了区域构造格局、沉积古地理环境和岩相分带以及沉积层厚度,而且对成矿作用的发生也有明显影响。笔者在前述的

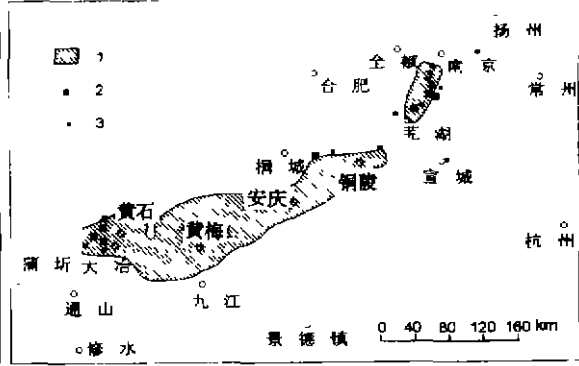
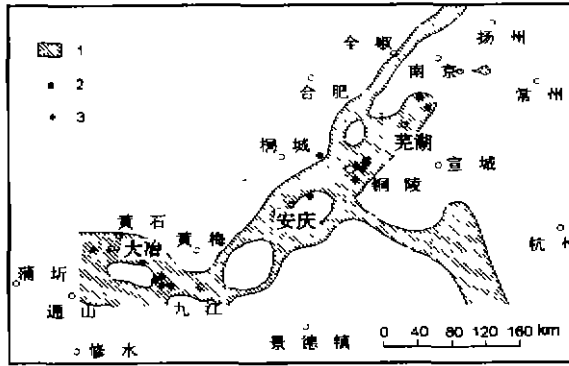


图 2 长江中下游地区海西旋回升降系数异常图  
Fig. 2 The anomaly map of the crustal uplift-subsidence coefficient during the Hercynian cycle in the middle-lower reaches of the Yangtze River  
1—异常范围;2—铜矿床;3—金矿床  
1—Anomaly boundary; 2—copper deposit; 3—gold deposit

图 3 长江中下游地区印支旋回升降系数异常图  
Fig. 3 The anomaly map of the crustal uplift-subsidence coefficient during the Indosinian cycle in the middle-lower reaches of the Yangtze River  
1—异常范围;2—大—中型铁矿床;3—小型铁矿床  
1—Anomaly boundary; 2—large—medium iron deposit; 3—small iron deposit

杂度的平均值(=4)和标准差(=3)之和为异常下限(=7),作出构造复杂度异常分带及矿床分布图(图 4)。由图可知,大多数铁矿床分布于低值异常区(7~10),少部分甚至位于异常区外,而大多数中—大型铜(金)矿床则分布于中—高值区,这说明多种构造因素的复合与叠加,对铜多金属的控制比较明显,而对铁矿床的影响较小。因而构造复杂度异常分带在一定程度上控制了铁矿床和铜多金属矿床的分带。同时,这种分带受深大断裂的制约,常具有一定方向性<sup>[3]</sup>。

#### 4 岩浆岩异常

所有的岩浆侵入体或火山岩系,均与周围环境有明显差异,故可将其视为一种显式地质异常。已有的研究表明,这种地质异常是本区成矿的必要条件之一。

##### 4.1 岩浆岩序列的异常演化

本区印支期末—燕山期岩浆岩主要属壳—幔同熔型

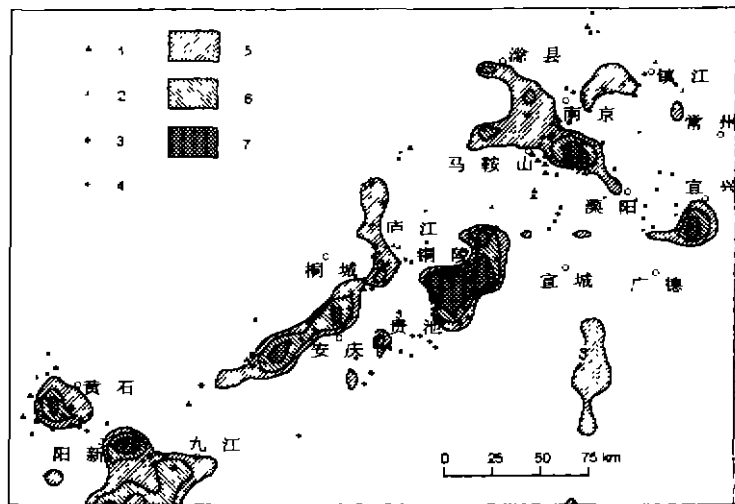


图 4 长江中下游地区断裂构造复杂度异常图  
Fig. 4 The anomaly map of structure complexity in the middle-lower reaches of the Yangtze River  
1—大—中型铁矿;2—小型铁矿;3—大—中型铜矿;4—小型铜矿;  
5—低异常区(7~10);6—中异常区(10~13);7—高异常区(>13)  
1—Large—medium iron deposit; 2—small iron deposit; 3—large—medium copper deposit; 4—small copper deposit; 5—lower anomaly(7~10); 6—medium anomaly (10~13); 7—high anomaly(>13)

(I型)岩浆岩系列<sup>[1]</sup>。其岩石化学成分相当于中性岩石,与戴里平均火成岩成分相比,显示出低硅高碱的异常特征。常印佛等将该岩浆岩系列划分为两个岩浆岩演化序列<sup>[4]</sup>。虽然两者有不同类型的岩石共生组合,但它们与成矿有关的岩石共生组合均是富碱的闪长岩类。一般地,形成闪长岩类的中基性或中性岩浆在分离结晶演化过程中,随着钙铁镁(铝)硅酸盐矿物的晶出,其碱硅质组分向着钠铝硅酸盐、钾铝硅酸盐和硅氧三组分的低熔共结—超熔线共结方向演化,这是正常的演化过程。但本区同熔型岩浆却出现了碱硅异常演化趋势:①第一岩浆岩序列闪长岩类出现钾硅异常演化,即随镁铁钙(铝)硅酸盐岩矿物的结晶分离,岩浆组分向钾铝硅酸盐+硅氧的二组分低熔—超熔线共结演化。表现为岩浆演化晚期出现正长细晶岩脉,并在岩浆气液期发生强烈钾硅质蚀变。这种异常演化,可能与幔源碱性玄武质母岩浆同化混染了地壳中富钾铝硅酸盐岩石有关,或与高位岩浆房中富碱性岩浆混熔有关,随着岩浆的分离结晶,残余岩浆中钾硅组分相对富集,它们对于铜、钼等离子聚合形式、分异和迁移富集有重要影响。特别是最终从岩浆中分离进入岩浆期后热液的钾硅质组分,通过交代岩浆岩,可使大量铜(钼)析出富集,在有利部位沉淀形成矿床。②第二岩浆岩序列富钠硅闪长岩类,包括以中性—中酸性岩石为主和以中基性岩石为主的两种岩石组合,它们分别产出于两种不同的地质构造环境,岩体地质特征上有差异,但它们成岩过程中出现的钠硅质异常演化趋势却相似,表现为钠长石与石英的低熔共结或超熔线共结。在此岩浆岩序列中,从早至晚,岩石化学成分中的 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{SiO}_2$ 含量逐渐增加,且 $\text{Na}_2\text{O}$ 增幅较大,基性组分显著递减,特别是铁质含量与 $\text{Na}_2\text{O}$ 呈强烈负

相关关系。表明在成岩过程中,随着 $\text{Na}_2\text{O}$ 的增加,铁质( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ )逐渐从岩浆中分熔或分离出来,促使铁矿浆和含铁热液流体的形成。对于铁矿床的形成有十分重要的作用<sup>[4]</sup>。

由此可见,正常岩浆的异常演化是促使成矿物质从岩浆中分离,并富集成矿的必要的地质过程。

#### 4.2 岩浆岩的时空结构异常

**时间分布异常** 中生代岩浆活动的时间跨度比较大,据100余个岩体中测定的120个同位素年龄数据,最早为210 Ma,最晚为60 Ma。但岩浆侵入和喷发活动的时间分布是极不均匀的。由岩体同位素年龄数据统计频率分布图(图5),可以看出,燕山中晚期(160~100 Ma)的岩浆活动频率最高,占84.4%,是岩浆活动异常高时期。而燕山早期和晚期末是岩浆活动低潮期。不同岩浆岩序列的异常高峰期也有一定差异,第一岩浆岩序列的高峰期在晚侏罗世(160~120 Ma),第二岩浆岩序列的高峰期为早白垩世(140~100 Ma)。本区主要铁铜金矿床的形成时间总体上与燕山期岩浆成岩异常高峰期一致。

**空间分布异常** 中生代岩浆岩空间分布也是极不均匀的。各类侵入体和火山岩受深大断裂及网格

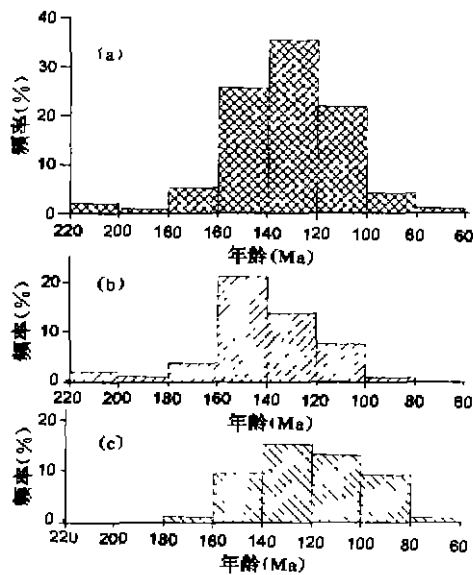


图5 燕山期岩浆同位素年龄分布频率图  
Fig. 5 The frequency distribution map of the isotopic age data of the Yanshanian period  
a—所有岩浆岩序列; b—第一岩浆岩序列;  
c—第二岩浆岩序列  
a—All magmatite sequence; b—the first magmatite sequence; c—the second magmatite sequence

状断裂构造异常的控制,而成带、成群产出。根据侵入岩与火山岩的集中范围和构造环境,可将本区岩浆岩带划分为若干个巨大的岩段(岩浆岩分布异常区段):鄂东南段,阳新一九(江)瑞(昌)段,庐江—怀宁段、铜陵—南陵段、贵池段,宁芜(南京—芜湖)段、宁镇(南京—镇江)段和苏州段。其中阳新一九瑞、铜陵—南陵、宁镇 3 个岩段的特征相近,它们都由众多的中小型酸性侵入体组成,均呈近东西向分布,无火山岩系,同属第一岩浆岩系列。与之有关的矿床类型以夕卡岩型和斑岩型铜多金属矿床为主。由西向东,这 3 个岩段相间出现,中间隔有火山岩盆地:鄂东南、庐江—怀宁、宁芜等 3 个岩段特征相近,均由中—大型中基—中酸性侵入岩和火山岩系组成,沿 NE—NEE 向展布。它们同属第二岩浆岩系列,与之有关的矿床类型主要是夕卡岩型和玢岩型铁矿床,这 3 个岩段也相间排布。另外,各岩段相邻部位还常形成过渡性岩浆岩序列,即具有第一、二成岩序列的某些特征,形成一些过渡性矿床,例如鄂东南与阳新一九瑞岩段的邻接区一带,形成了铜录山、铁山等大型铁铜多金属矿床。

## 5 综合地质异常

由上述分析可知,各类地质异常对矿床在物质组成、时空分布和演化等不同方面产生控制作用。但实际的成矿过程中,各类地质异常并不是孤立的,而是相互作用、相互制约的。因此,研究综合地质异常与成矿的关系尤为重要。

为定量地表示综合地质异常,本文构置了地质组合熵,它反映一定范围内地质结构的变异程度。对地质组合熵的计算,仍以前述 1:50 万网格化地质图为基础,取地质变量 22 个,采用相对熵公式来计算。经过计算,求出了各单元的地质组

合熵值,以单元组合熵的算术平均值( $=0.11$ )与标准差( $=0.14$ )之和为异常下限( $0.25$ ),圈出的熵异常如图 6 所示。由图可知,鄂东—九瑞地区的异常范围较大,呈北西向展布,这与该区构造—岩浆—矿化带基本吻合。而铜陵—繁昌、马鞍山、句容等地异常,沿 NE 向呈串珠状分布,基本与几个控制铜铁金成矿带的褶断隆起区相吻合。将已知的铜、铁、金矿床投到该异常图上,可看出,绝大部分中—大型矿床位于异常内。由此可见,本区内生铁铜金矿床主要产出于地质结构的异常地段,换言之,地质结构的变异程度对于成矿有重要控制作用。因此,地质组合熵异常是反映多种地质因素组合的成矿有利程度的综合变量,可作为矿产定量预测的评价指标。

## 6 结语

地质异常是反映一类客观地质实体的物质场,具有类似于物理场的某些特性,如强度和广

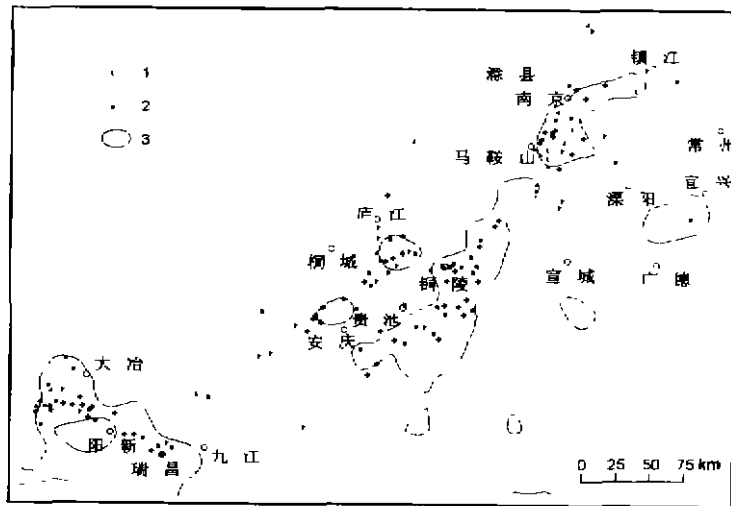


图 6 长江中下游地区综合地质异常(地质组合熵)图  
Fig. 6 The anomaly map of geological combination entropy  
in the middle—lower reaches of the Yangtze River  
1—铁矿床; 2—铜矿床; 3—异常范围  
1—Iron deposit; 2—copper deposit; 3—anomaly boundary

度性。许多情况下,它表现为在正常地质背景场中,场强数值超过某一临界值(异常下限)的异常场空间,因而具有可度量的三维空间规模、形状和方向性。内生金属矿床主要产于地质结构异常地段,因此,研究地质异常及其控矿特征,对实现基础地质研究成果的定量化和矿产定量预测有重要现实意义。

### 参 考 文 献

- 1 赵鹏大、池頌都. 地质异常与矿产预测. 地球科学, 1993, 18(1): 3~46.
- 2 赵鹏大、王京贵、饶明辉. 中国地质异常. 地球科学, 1995, 20(2): 117~127.
- 3 翟裕生、姚书振、林新多、周宗桂. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社, 1992. 14~119页.
- 4 常印佛、刘湘培、吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 1991. 138~190页.
- 5 蔡本俊. 长江中下游三叠系蒸发岩特点及其对形成铁铜矿的意义. 地质论评, 1980, 26(1): 12~17.
- 6 赵鹏大、胡旺亮、李紫金. 矿床统计预测. 北京: 地质出版社, 1983. 47~59页.
- 7 顾连兴、徐克勤. 论长江中下游中石炭世海底块状硫化物矿床. 地质学报, 1986, 64(2): 155~165.

## Geological Anomaly and Mineralization in the Middle—Lower Reaches of the Yangtze River

Lü Xinbiao, Zhao Pengda and Yao Shuzhen

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhuan, Hubei, 430074)

### Abstract

In this paper the authors apply the theory and method of geological anomaly to the qualitative and quantitative analyses of types and features of geological anomalies in the middle—lower reaches of the Yangtze River, and discuss the time-space relations between Fe-Cu-Au deposits and various types of geological anomalies. The results demonstrate that the sedimentary anomaly is a major factor leading to the formation of stratabound deposits; the central anomaly zone of uplift and subsidence controlled by crustal uplift and subsidence supplied favourable space and ore-forming material for deposits; the anomalies of structures complexity controlled zoning and spatial localization of deposits; the anomalous evolution of Mesozoic magmatite was a necessary geological process for mineralization and enrichment of ore-forming elements; the time-space distribution of Fe-Cu-Au deposits was restricted by the anomalies of space-time distribution of magmatic rock; and the anomaly of geological combination entropy, one integrated variable expressing the favourable degree of mineralization of various kinds of geological factors, can be used as an evaluation indicator of mineral quantitative prognosis.

**Key words:** geological anomaly; Fe-Cu-Au deposit; time-space distribution of ore deposits; quantitative prognosis; middle—lower reaches of the Yangtze River

### 作 者 简 介

吕新彪,男,1962年生。1985年毕业于武汉地质学院,1997年获博士学位。现为副教授,主要从事矿床学和矿产定量预测研究工作。通讯地址:430074,湖北武昌喻家山中国地质大学资源学院。电话:(027)7481946。