

第 1 章 概 论

1.1 矿田区域地质地球化学异常结构模式

1.1.1 矿床模式、异常模式及研究现状

截至到 2000 年底 中国的区域化探扫面已覆盖面积约 590 万 km^2 占全国可扫面积 650 万 km^2 的 91%。目前我国已经积累了大量而宝贵的地球化学和地质资料，这些资料在地质找矿，特别是在找金矿中发挥了巨大作用，成果世人瞩目；但是化探找铜效果却不如找金那样明显。因此 利用中国的 1:20 万区域化探扫面资料，研究已知铜矿的区域地质地球化学特征，认识与总结铜矿床的区域地球化学异常规律，提高与完善铜异常的筛选与评价方法，对于进行铜矿的区域找矿预测意义重大。

纵观世界各工业发达国家的矿产资源勘查，重大突破性进展多数是从研究与建立典型矿床模式入手，尔后正确运用这些模式指导成矿区、带的普查找矿而取得的。建立成矿模式就是从矿床的复杂地质现象及其大量的研究资料中挑选出具有控制意义和识别特征的要素加以组合。目前国内外均很重视矿床模式的研究，并已取得很大成果。如 Cox 和 Singers (1990)根据世界上近 4000 个矿床资料整理出 85 个描述性矿床模式和 60 个品位、吨位模型。陈毓川等 (1993)通过对大量矿床地质特征的研究，总结出 Au-Ag、Cu-Ni、Pb-Zn、W-Sn-Mo、Fe-Mn 等 70 个矿床的成矿模式。近年来，地球化学异常找矿模式开始引起人们重视。欧阳宗圻(1990)总结出我国 15 个典型有色金属矿床（包括 Cu-Mo、Pb-Zn、Au 等）的地球化学异常模式。《国外地质勘探技术》编辑部 1990 编辑的“以若干金属矿区为例建立找矿经验模式的研究”，通过国内若干个矿床并结合少量国外矿床的实例，总结了找矿模式的特征与内容。

从目前已有的有色金属矿床地球化学异常模式看，它们基本上是建立在矿床原生晕基础上的。矿床原生地球化学异常模型在地质找矿预测中起到了很重要的作用；次生异常对原生异常有继承性，但是在次生环境的影响下，又会产生很大的变异性。因此，原生异常模型不能完全适合于利用次生异常进行找矿预测，特别是在利用水系沉积物地球化学资料进行省级或大区乃至全国的地球化学找矿预测时，原生异常模型就显得更加局限，它们所反映的地质背景也很局限。它们只能反映矿区范围内的成矿地球化学异常特征，而对更大范围的矿田的成矿地球化学异常特征无法反映。以区域地球化学资料为基础建立的矿床或矿田区域地球化学异常模式尚属少见。尽管各省所编 1:20 万地球化学图说明书中一般均有典型矿床区域地球化学异常特征的描述，但大多数很简单，只涉及成矿元素和主要指示元素异常，而且还缺乏统一的归纳。另外，由已知矿的区域地球化学异常分布特征看，一个具有一定规模的区域地球化学异常范围内往往包含有一个以上相同类型甚至不同类型的矿床，它

们的异常是很难分割的。因此，具有一定规模的水系沉积物异常一般是对由多个矿床组成的矿田的综合地球化学异常信息的反映，而不是其中某一个矿床。为了适应当前小比例尺地球化学找矿预测，利用已经取得的 1:20 万区域化探扫面资料，建立各种类型矿床或矿田乃至成矿区带的区域地球化学异常模式是非常重要的，是当前 1:20 万区域化扫面资料的开发与利用，以及进行小比例尺大范围成矿预测的重要一环，对于丰富和完善建模理论也具有重要意义。

1.1.2 矿田区域地质地球化学异常结构模式

1.1.2.1 地球化学负异常

地球化学正、负异常是相对而言的，只是以前对待负异常没有象对待正异常那样给予足够的重视。Govett(1983)给异常所下的定义是：“异常是用特定分析技术测定的特定环境和特定样品类型中元素或元素组合的异常高或异常低的含量，或者元素或元素组合的异常空间分布”。谢学铎(1981)和斯梅斯洛夫等(1985)也曾指出负异常是异常含量明显低于背景平均值的异常。

最近十几年，原生负异常的研究已经引起人们重视。而且，研究结果表明，负异常与正异常具有同等重要的意义。负异常的形成可作为一种重要而特殊的地质现象，可以用于矿床的普查及预测和评价中(Shi等,1995)。

原生地球化学模式是在地球演化的地球化学过程中形成的。在表生风化作用过程中，有关元素又被转化到各种地表介质中(Xie等,1993)。次生模式对原生模式即有继承性又有变异性。因此，在各种次生介质如水系沉积物和土壤中可以存在负异常，但与原生模式有所不同。目前，对次生负异常的意义研究却很少。Govett(1983)曾发现在希腊的某 Pb-Zn 矿床上方土壤中有 Zn 的负异常。Chaffee 等(1981)利用水系沉积物测量结果对 Southern Arizona 的红山斑岩铜矿床上的 Mn 负异常进行过研究，发现红山斑岩铜矿上即有正异常又有负异常，指出其最好的矿化指标是 Mo、Pb、Te 的正异常和 Mn 的负异常的重合部位(图 1-1-1)。另外，水系沉积物中负异常与深大断裂的关系(史长义,1992)以及某些元素负异常的分布特征(谢学锦等,1990)已有过初步研究。

通过对几个地区衬值负异常的分析(Shi等,1995)系统地探讨了区域性负异常的分布特征、负异常与正异常的关系、负异常的地质意义和找矿信息等。他们认为采用衬值计算负异常上限的方法能够发现和圈出明显的区域性次生负异常，地球化学异常由正异常和负异常组成。次生异常模式与原生异常模式具有可比性。而且，单元素和多元素负异常的区域分布模型确实存在，并与正异常相伴生。无论是在低背景区还是在高背景区，负异常通常伴随正异常出现，它们的异常规模存在着近似正相关关系。在已知矿的周围分布有成矿元素和指示元素的正、负异常模型(图 1-1-2)。因此，在研究基础地质问题、异常解释推断和建立异常模型等方面，我们不仅要研究正异常，而且还要研究负异常，特别要注意那些周围伴生有负异常的正异常。区域性地球化学负异常具有重要的意义，特别是区域性正异常模式在矿床田预测中将起着非常重要的作用。

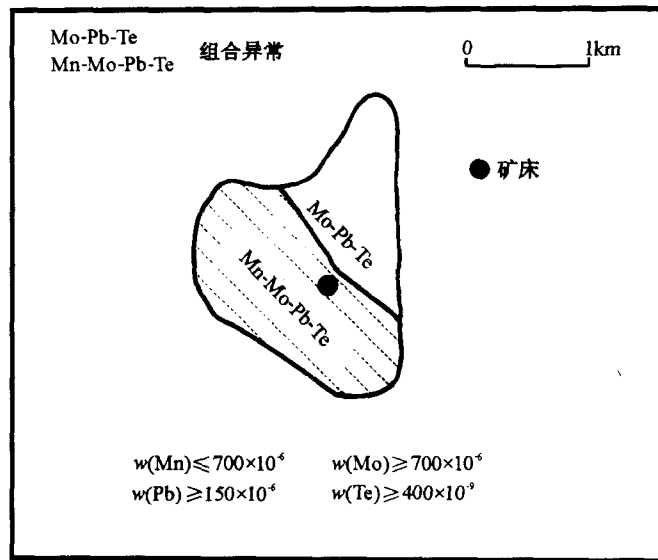


图 1-1-1 红山斑岩铜矿的 Mn、Mo、Pb、Te 区域组合异常模型
(据 Chaffee 等 1981 资料简化)

1.1.2.2 矿田区域地球化学异常与多元素区域异常组合的划分

矿田的地球化学异常特征研究还很少。欧阳宗圻等 (1990) 在总结有色金属矿床地球化学异常模式时注意到了矿田级异常的特征, 较为概略和原则; Shi 等 (1995) 和史长义等 (1996) 对 Au、Cu 矿田区域地球化学异常模式进行了初步研究, 给出了几个实例。

矿田区域地球化学异常是指在一定范围内与矿田级成矿作用有关的区域地球化学异常, 是矿田范围内多期次多阶段成矿作用的地球化学反映, 其异常范围在 $n \times 10 \sim n \times 100 \text{ km}^2$ 。据已知矿的 1:20 万水系沉积物异常分布特征分析, 一个具有一定规模的区域地球化学异常范围内往往包含有两个以上相同类型甚至是不同类型的矿床, 它们的异常是很难分割的。因此, 与矿化有关的区域地球化学异常, 特别是具有一定规模的多元素组合异常反映的主要是矿田级异常, 一般反映一个以上矿床的复合地球化学信息, 较少是单个矿床。而且, 矿田是受整个区域成矿带控制的。

已知矿田上的区域地球化学异常是多元素的, 而且各元素异常空间分布位置相互交叉、重叠。如何有效地划分这些多元素异常组合, 是研究区域地球化学异常空间分布特征和建立异常模式, 特别是利用这些规律进行找矿预测的重要基础。异常元素组合的研究是一项复杂的工作, 特别是由于表生作用常常使化学性质极不相同的元素在一起出现, 更增加了这项研究的复杂性。大量事实表明, 异常的元素组合既受内生成矿作用的影响, 又受表生地球化学作用的控制。即使同一类型的矿床的异常元素组合, 也会因地质背景和表生环境的不同而有差异。异常元素组合强调的是出现异常的元素组合, 包括原生异常元素组合和次生异常元素组合。后者对前者既有继承性, 又有差异性, 两者不完全一致。这里讨论的是区域化探扫面中的异常元素组合, 即次生异常元素组合。

解释地球化学数据的目的之一, 是要区分出异常元素组合, 并把它们与一定的矿床类型

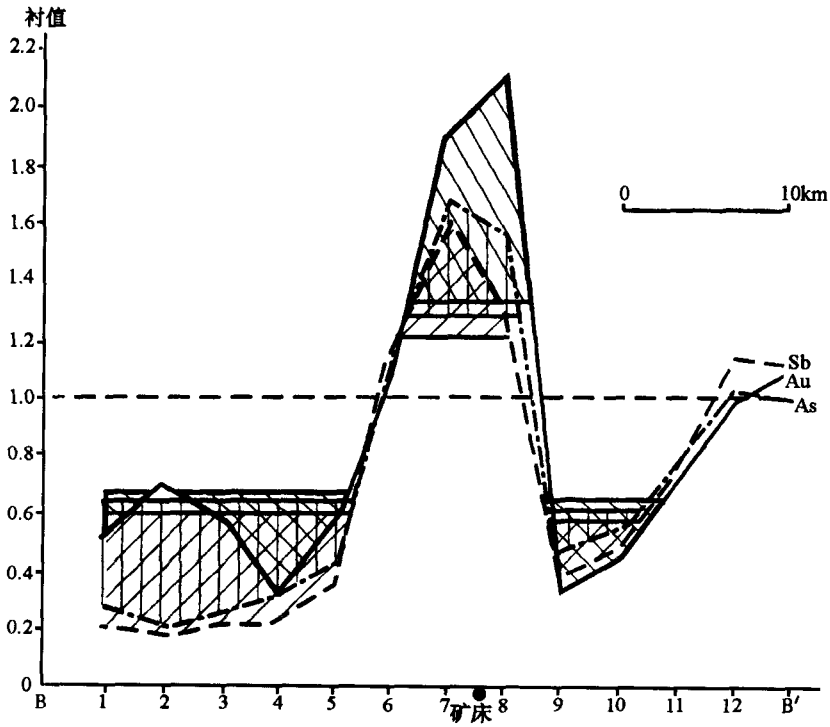
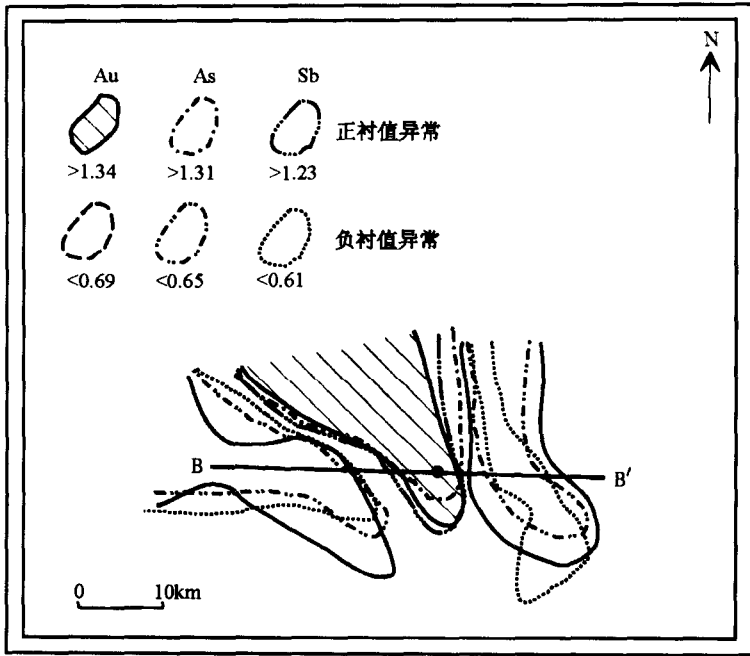


图 1-1-2 青海五龙沟金矿正负区域地球化学异常模式
(据 Shi 等 1995)

联系起来 Overstreet 等,1981)。异常元素组合是异常筛选与评价的基础,确定异常元素组合应尽可能作到合理,即要去掉对主成矿元素意义不大的元素,又要尽量保留对其有指示意义的元素,同时还应最大限度地揭示矿化信息,特别是要尽量避免对弱矿化信息的丢失或掩盖。在区域异常筛选与评价中,多元素复合异常的合理分割与分解,确定主成矿元素与伴生元素,搞清主成矿元素与伴生元素的关系,以及伴生元素中哪个或哪些元素对主成矿元素有较大贡献和对确定主成矿元素的异常组合起重要作用,是非常关键的问题。它关系到对异常的筛选是否合理,对异常的评价是否正确。

从区域异常的空间分布关系出发,史长义(1997)提出异常叠合度 DOCA 的概念,来衡量两个或多个元素异常在空间上相互重叠的程度,分解已有的空间上相互交叉、重叠的多元素复合异常,将它们分组,以便比较合理地确定主要成矿元素、伴生元素及其异常元素组合。

通过对我国不同成因类型(刘兰笙,1986)铜多金属矿田(床)区域地球化学异常的研究,史长义等(1996)发现各种类型矿田上均具有明显的多元素区域地球化学的异常;而且,它们的区域异常元素组合存在一定规律性。与成矿作用有关的元素异常基本上可划分成三组,即成矿元素异常组合、指示元素异常组合和成矿环境元素异常组合。在矿田上它们的分布具有独特的结构特征。成矿元素异常是指目前已知的达到工业品位的成矿元素的异常。指示元素异常包括直接指示元素异常和间接指示元素异常。直接指示元素异常是指主要成矿元素、次要成矿元素及少量伴生元素异常,间接指示元素异常是指与成矿作用有关的重要指示元素异常。成矿环境元素异常是指那些反映成矿环境和岩性的典型元素异常。成矿元素异常是为了反映已知的成矿事实,而直接指示元素异常是与成矿有直接关系的一套元素的异常用以反映成矿类型进行成矿预测。

异常元素组合划分所遵循的主要原则是元素的地球化学性质、异常的空间分布趋势、异常之间的相互叠合程度(史长义 1997)以及它们与地质背景的关系。

多元素区域地球化学异常元素组合的划分方法是在对不同类型铜矿床区域地球化学异常分布特征进行研究基础上提出的,这样做有利于同一类型或不同类型矿床之间的异常的对比,也比较适合于大范围内利用已知矿床异常模式评价未知异常,进行区域找矿预测。成矿元素异常、指示元素异常和成矿环境元素异常的划分是相对的,异常元素组合的变化随矿种的不同而变化。例如,对铜矿而言,Cu是成矿元素异常,Au可作为指示元素异常;而对金矿来说,Au是成矿元素异常,Cu则可作为指示元素异常。另外,异常元素组合的组成特别是铁族元素和碱性元素等的组成是广义的(史长义等,1996)主要考虑的是它们对成矿环境的反映如将Si、Na、K、Be、Li、Th等作为碱性元素,Fe、Mg、V、Ti、Co、Cr、Ni、Mn等作为铁族元素,用以反映岩体特征。

1.1.2.3 矿田区域地球化学异常结构模式及其理论基础

为了提高地球化学数据解释的能力,В.М.Питгилько等(1990)强调必须把地球化学场的整体(而不是单个异常的)分析与成矿系统形成的基本成矿作用问题、地球化学问题统一起来。重要的是要能察觉到系统的每一个级次上是否有“成矿相貌”的矿物地球化学指示标志(包括一定成分的地球化学异常)出现,正是这一点决定着作为普查标志的整套异常的信息度,因为这样一套异常相互组成了规律性的结构,并反映着地质场的特征。

欧阳宗圻等(1990)指出矿田地球化学异常模式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、异常分布与形态特征、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。

已知资料表明，在矿床周围不仅存在大量正异常，也出现大量负异常。地球化学负异常与正异常具有同等重要的意义，地球化学异常的解释推断应包括正异常和负异常。图 1-1-3 为内蒙古某地区 5 组多元素正、负区域异常的分布示意图，图中实线为正异常，虚线为负异常。显然，初步观察时图中异常总体分布显得比较零乱。但是，如果仔细观察就会发现其中的 BD 地区异常的空间分布还是有明显规律的，可以看出图中这 5 组元素异常有两种不同的分布趋势：一是在大部分已知无矿地区它们的正、负异常交叉、重叠，总体分布杂乱无章，无规律可循，呈现“无序”状态；二是在局部 BD 已知矿地区，这些异常相互套合或重合，正负异常均呈有规律的分布，正异常分布在已知矿上方，而负异常则分布在正异常的周围，呈“有序”状态。显然，成矿异常与非成矿异常的分布结构是截然不同的。这就引出了异常结构模式的概念。此外，图 1-1-3 中在 BD 已知矿地区出现的多元素异常还存在一组沿 NW 方向的空间线性有序分布趋势，这可能反映成矿区带或区域性构造对异常分布的控制。

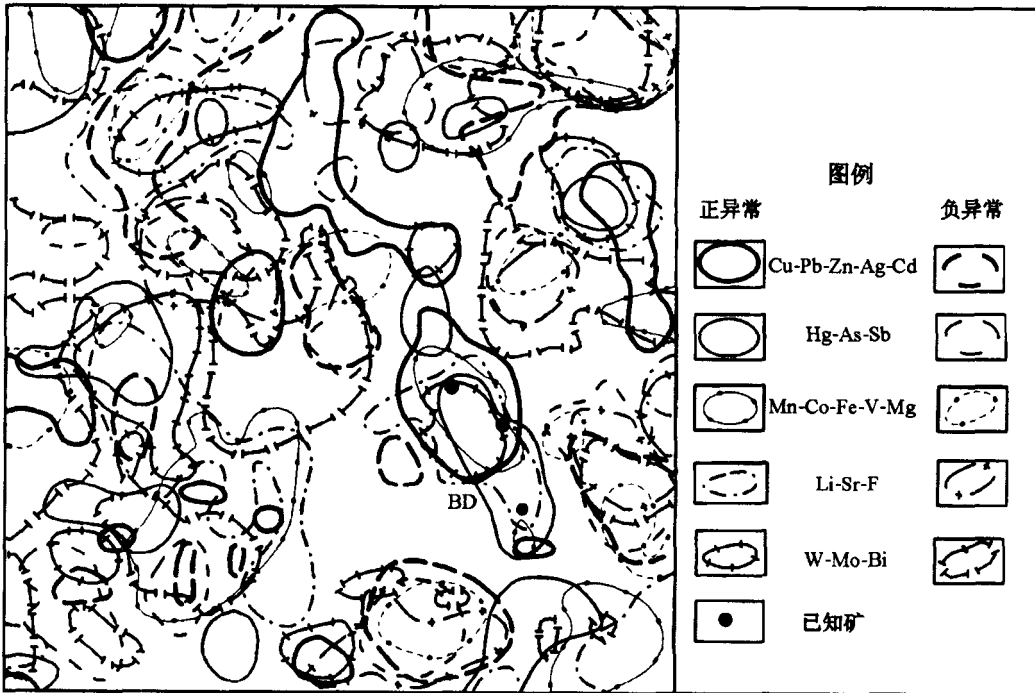


图 1-1-3 内蒙古某地区 5 组多元素正、负区域异常的分布示意图
表示已知矿 BD 上方异常分布呈“有序”结构，无矿地区异常分布呈“无序”状态

众所周知，地壳和上地幔中元素的分布是不均匀的。元素可以从一种赋存状态转变为另一种赋存状态，并常常伴随元素组合和分布上的变化及空间上的迁移。成矿作用使呈原始分散状态的化学元素在特定的地质环境中相对富集形成矿床，而且这种化学元素的迁移富集是有一定方向性的。成矿过程就是元素活化及迁移的有序化过程，当达到有序分布时就形成矿床。

地球化学异常是指某元素的含量水平高于或低于其在某一地质体中背景平均值的现象。造成元素含量异常的原因很多，即可以是成矿作用，也可以是区域地质作用、构造运动、岩浆活动，甚至某一地质体中局部元素含量的偏高或偏低也可形成异常（即岩性异常）。凡与矿或成矿作用有关的异常为矿异常，凡与矿或成矿作用无关的异常为非矿异常。

在矿田级成矿作用下，矿田内及其周围地质体中的元素发生活化迁移，使元素从分散的“无序”状态到高度富集的“有序”状态形成矿床，并伴随有元素组合和元素分布的变化以及空间的位移。地球化学异常当然有反映。这种矿田上多元素异常在空间上的有序分布，是在矿田级成矿作用过程中化学元素从分散的“无序”状态走向局部富集的“有序”状态的具体体现。成矿作用的有序化过程就是元素异常有序分布的基础，成矿作用过程是多元素异常空间分布结构从无序走向有序的过程。在无矿地区，由于没有发生使元素产生高度富集和重新分布与分配的成矿作用，这些异常与成矿作用无关，多元素异常仍呈无序分布。

因此，所谓矿田区域地球化学异常结构（spatial structures of geochemical regional multi-element anomalies 模式（史长义等，1996）是指与矿田级成矿作用有关的各个多元素异常组合的空间有序分布之总体结构特征，用于表征各个异常组合所构成的总体“成矿异常面貌”（metallogenetic anomaly face）。异常结构模式也是一种异常模式，与一般的异常模式有所不同。异常结构模式所强调的不是单独某个元素异常出现与否，或强度高，或面积大小，而是把在矿田范围内与已知成矿作用有关的各个多元素异常组合看做一个整体，来研究其中各组异常的空间分布态势，研究各个异常组合所构成的总体“成矿异常面貌”特征。它是多元素异常的一种综合空间分布结构，不是单纯的组分分带，而是以地质特征结构和地球化学异常结构反映成矿的地质环境和地球化学环境。

1.1.2.4 区域地质地球化学异常结构模式的研究对象和主要内容

任何建模工作的首要任务就是要明确建模的研究对象和模型（式）的主要内容。对于建立区域地球化学异常模式，这个问题就显得更为重要。欧阳宗圻等（1990）指出矿田地球化学异常模式主要是通过区域化探普查资料取得的。前已述及，具有一定规模（ $n \times 10 \sim n \times 100 \text{ km}^2$ ）的区域地球化学异常往往是矿田地球化学信息的综合反映。从目前情况分析，适合于矿田级异常研究的资料，主要来自于1:20万~1:50万区域化探扫面。勘查地球化学理论证明，所有的地球化学模式均来源于岩石中的原生模式，这些原生模式在表生风化作用过程中又被转化到各种地表介质中。大量研究表明，次生模式不同于原生模式，原生模式的很多特征在次生模式中或不能表现出来或发生了变异。因此，利用次生晕尤其是水系沉积物资料进行找矿预测时，不宜直接照搬原生模式的特征和准则，应以次生模式的特征和准则为主，原生模式资料做为参考。这样，在以区域水系沉积物异常为基础建立矿田的区域地球化学异常模式时，不宜包含有关的矿床原生晕特征或指标，应该限于1:20万或1:50万水系沉积物资料为宜。这样才能更适合于利用1:20万或1:50万水系沉积物资料进行区域成矿预测，特别是对工作程度比较低的未知地区的异常进行评价。

因此，我们研究矿床区域异常模式的出发点是从区域成矿带到局部矿田，利用区域化探扫面资料，研究它们的多元区域异常的结构特征，包括成矿元素、指示元素和常量元素在内的39种元素的异常空间分布规律。在研究中不仅要研究正异常，还要研究负异常，同时还研究这些异常与地质背景的关系并进行地质解释。在此基础上建立成矿带和矿田的区域

地质地球化学异常结构模式。

矿田区域地质地球化学异常结构模式应包括三方面的主要内容：

1) 矿田成矿的区域地质环境

- (1) 景观类型；
- (2) 已知矿床情况 包括成因类型、矿种、矿床个数、规模及矿床剥蚀程度等；
- (3) 大地构造位置；
- (4) 区域构造及控矿构造；
- (5) 赋矿地层，即与成矿作用有关地层；
- (6) 与成矿作用有关的岩浆岩。

2) 矿田成矿的区域地球化学环境

- (1) 矿田的区域地球化学背景特征；
- (2) 矿田的区域地球化学异常分布特征：① 成矿元素异常分布特征 ② 指示元素异常分布特征；③ 成矿环境元素异常分布特征。

3) 矿田区域地质地球化学异常结构模式

1.1.2.5 铜多金属矿田区域地球化学异常结构的三种表现形式

异常的出现与分布和地质背景密切相关。一个地质单元的原始元素丰度是异常形成的基础，而形成异常的动力则是构造岩浆活动。因此，不同地质单元中的构造岩浆活动特征不同，其所形成的异常模式也不同。

根据不同类型矿田区域地球化学异常结构的形态特征，可以初步将铜多金属矿田的区域地球化学异常结构归纳为三种表现形式，即套合式、偏心式和环心式（图 1-1-4）。套合式异常结构是指多组元素异常的空间分布位置基本一致，各组异常之间的叠合度很高，几乎完全重合（图 1-1-4a）如湖南宝山 Cu-Pb-Zn 图 3-2-9)和新疆喀拉通克 Cu-Ni(图 3-3-4)矿田；偏心式异常结构是指以一组或几组异常为中心，多组元素异常在一定空间范围内与之交叉、重叠分布（图 1-1-4b）如吉林小西南岔 Cu-Au(图 3-2-6)和江西德兴 Cu-Mo(图 3-2-3)矿田；环心式异常结构是指以几组呈套合形式的异常为中心，有一组或几组异常在其周围呈“环状”分布（图 1-1-4c）如福建紫金山 Cu-Au(图 3-1-6)和甘肃白银厂铜多金属(图 3-1-13)矿田。

对比图 1-1-4 中三种形式的异常结构可以看出一种变化趋势，即由套合式→偏心式→环

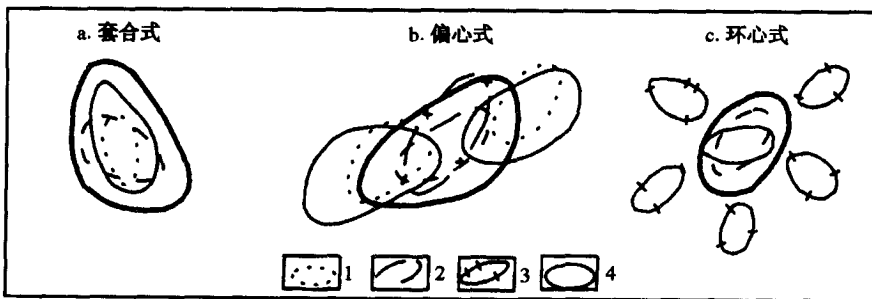


图 1-1-4 异常结构三种表现形式
1~4是不同等值线示意

心式，异常的空间分布位置是逐渐分离的。若以空间分布位置基本一致的套合式结构为基础结构，当其中有几组元素异常的中心偏离套合异常的重心，但异常并没有分离时，形成偏心式结构；当几组元素异常的中心远离套合异常的重心达到脱离套合异常并分布在其周围时形成环心式异常结构。套合式异常结构主要与岩浆型和热液型矿田床有关，其次是夕卡岩型矿田床，偏心式异常结构主要与斑岩型和夕卡岩型矿田床有关。环心式异常结构可能是与火山岩有关的矿田床的典型异常结构。显然，异常结构与矿田床的形成机制有关。

所有的地球化学模式均来源于岩石中的原生模式，这些模式是在地球演化的整个地质过程中形成的。但是，在表生风化作用过程中它们又被转化到各种地表介质（如土壤、水系沉积物、水、植物和气体）中，次生模式对原生模式既有继承性又有变异性。所以，利用地表介质的各种地球化学数据自然能够研究地球化学模式的重要特征。因此，上述异常结构的表现形式与矿田床有成因上的联系，它们是在有利成矿的地质地球化学环境中，特定成矿作用下元素发生迁移富集与贫化的地球化学作用的结果。

1.1.2.6 矿田区域地球化学异常结构模式的特点

矿床地球化学异常模型在地质找矿预测中起到了很重要的作用。但是，它们只能反映矿区范围内的成矿地球化学异常特征，而对更大范围的矿田成矿地球化学异常特征无法反映。所以，矿床异常模型不能完全适合于大范围内利用次生异常进行找矿预测，特别是在利用水系沉积物测量资料进行省级或大区乃至全国的地球化学找矿预测时，矿床原生异常模型就显得更加局部。为了能充分利用我国宝贵的 1:20 万水系沉积物测量资料进行区域找矿预测，建立以水系沉积物异常为基础的区域地球化学异常模式是非常重要的。

矿田地球化学异常及其异常结构模式是通过在全国 13 多个铜多金属矿田（包括近 30 个矿床）的区域化探扫面资料进行综合研究、总结、归纳基础上提出的。众所周知，模式找矿已为广大的地质工作者所接受和使用，并已发挥很大作用，但是其应用仍然有很大局限性。其中最大的一个问题就是以特定地区、特定类型矿床为对象建立的矿床异常模式和评价指标，只能适用于相同类型或相似类型矿床的评价，不易于发现新类型矿床，更不适宜于不同的区域地质地球化学背景区或成矿区带，尤其是工作程度较低地区的矿床的预测评价。异常结构模式是把地球化学场作为一个整体，重点研究与成矿作用有关的、空间上呈有序分布的各个多元素异常组合所构成的总体“成矿异常面貌”，强调的是多元素异常组合空间有序分布的总体态势，单一因素的影响较小。以多元素而不是单元素异常为研究对象是异常结构模式与其他异常模式的主要区别之一。因此，异常结构模式比较适合于利用 1:20 万或 1:50 万水系沉积物测量资料进行大范围的区域成矿预测，特别是对工作程度比较低的未知地区的异常进行评价。

在矿田异常结构模式研究中，以地质特征结构和地球化学异常结构反映成矿的地质环境和地球化学环境，建立不同类型矿田乃至成矿带的区域地质地球化学异常结构模式，总结不同类型矿田和成矿带的区域地球化学异常筛选评价指标，以此为依据进行异常筛选评价和区域成矿预测。根据全国近 30 个铜多金属矿的区域地球化学异常参数和十几个矿田的区域地质地球化学异常结构模式，已经初步建立起大中型铜多金属矿的区域地球化学异常预测评价指标。

与一般模式相比，矿田地球化学异常结构模式从矿田的成矿地质地球化学环境出发，采用统一的数据处理方法来处理数据，识别异常；利用衬值来圈定异常，以利于全国对比而不会因同一元素在不同的矿床上的异常下限不同造成无法对比；既研究正异常，又研究负异常。研究多元异常组合所构成的总体“成矿异常面貌”而不是其中单元异常的特征。其核心是多元衬值异常组合及其所构成的总体“成矿异常面貌”，这些特性使得异常结构模式可以实现横向对比。

异常结构模式研究的是多元异常的空间分布所构成的“面貌”即“face”。不是仅仅研究“face”中“眼睛”的大小或“鼻子”的高低等等个体的特性，着重研究由“五官”等个体所构成的“face”的总体特征，来鉴别这种“face”是具有成矿异常的“face”还是非成矿异常的“face”。研究表明，成矿异常和非成矿异常的“face”有显著差异。成矿异常的“face”具有多元异常的有序分布结构，而非成矿异常的“face”则表现为多元异常的空间分布是无序的。成矿异常的面貌是成矿作用过程中元素活化迁移所遗留的痕迹或迹象的具体（总体）表现。

1.2 内生铜多金属矿床的分类及其特征

1.2.1 内生铜矿成因分类及其分布规律

矿床的成因分类反映人们对矿床成因和成矿过程的认识，是人们对矿床研究成果的高度概括。矿床分类是当前矿床学中一个复杂的问题，由于对矿床的形成条件、成矿机制、控矿因素以及成矿物质来源等方面的认识不同，以及分类原则和基础不同，而使得分类方案有很大分歧。一般认为，成矿物质及其来源是成矿的基础和前提条件，成矿环境是外界条件，而成矿作用则是成矿物质在一定的环境下富集而形成矿床的机制和过程（袁见齐等，1985）。

陈毓川等（1993）根据成矿系列理论将矿床成矿模式分为与岩浆作用有关的矿床、与沉积作用有关的矿床、与变质作用有关的矿床和其他成因矿床4个系列。郭文魁等（1987）和刘兰筓（1986）在不忽视成矿温度、压力等物理化学因素的基础上，结合我国金属成矿的条件与容矿围岩性质，将中国内生金属矿床分为岩浆型、接触交代型、斑岩型、热液型、层控热液型、陆相火山岩型和海相火山岩型等七大类。这一分类方案有利于进行区域成矿分析，比较适合于普查找矿。图 1-2-1 为中国主要大中型铜矿分布图，可见我国的铜矿在区域分布上具有两大显著特征。

1) 铜矿床的分布与区域地质构造关系密切

海相火山型铜矿床分布在优地槽褶皱带和基底出露的隆起区。岩浆型铜矿床明显地受深断裂控制，有的分布在两大构造单元的交界处两侧及地槽区、地台区的深断裂附近，且多分布在隆起一侧。夕卡岩型和斑岩型铜矿床在地台区主要分布于地台边缘凹陷带或隆起与凹陷的过渡带，在地槽区往往分布在地背斜隆起区的边缘深断裂附近。根据铜矿床成矿特点及其与区域地质构造的分布关系，刘兰筓（1986）将中国铜矿的分布划分为古亚洲成矿域、滨太平洋成矿域和特提斯-喜马拉雅成矿域。根据中国已知中型以上铜矿的分布特征看，大地构造和区域性地质构造控制着铜矿床的区域分布和类型。

(1) 天山-赤峰活动带以北地区：其范围相当于天山—赤峰活动带及西伯利亚板块，成矿时代以古生代为主，矿床主要受 NW、NE 和 NEE 向构造控制，涉及省份包括新疆、甘肃、

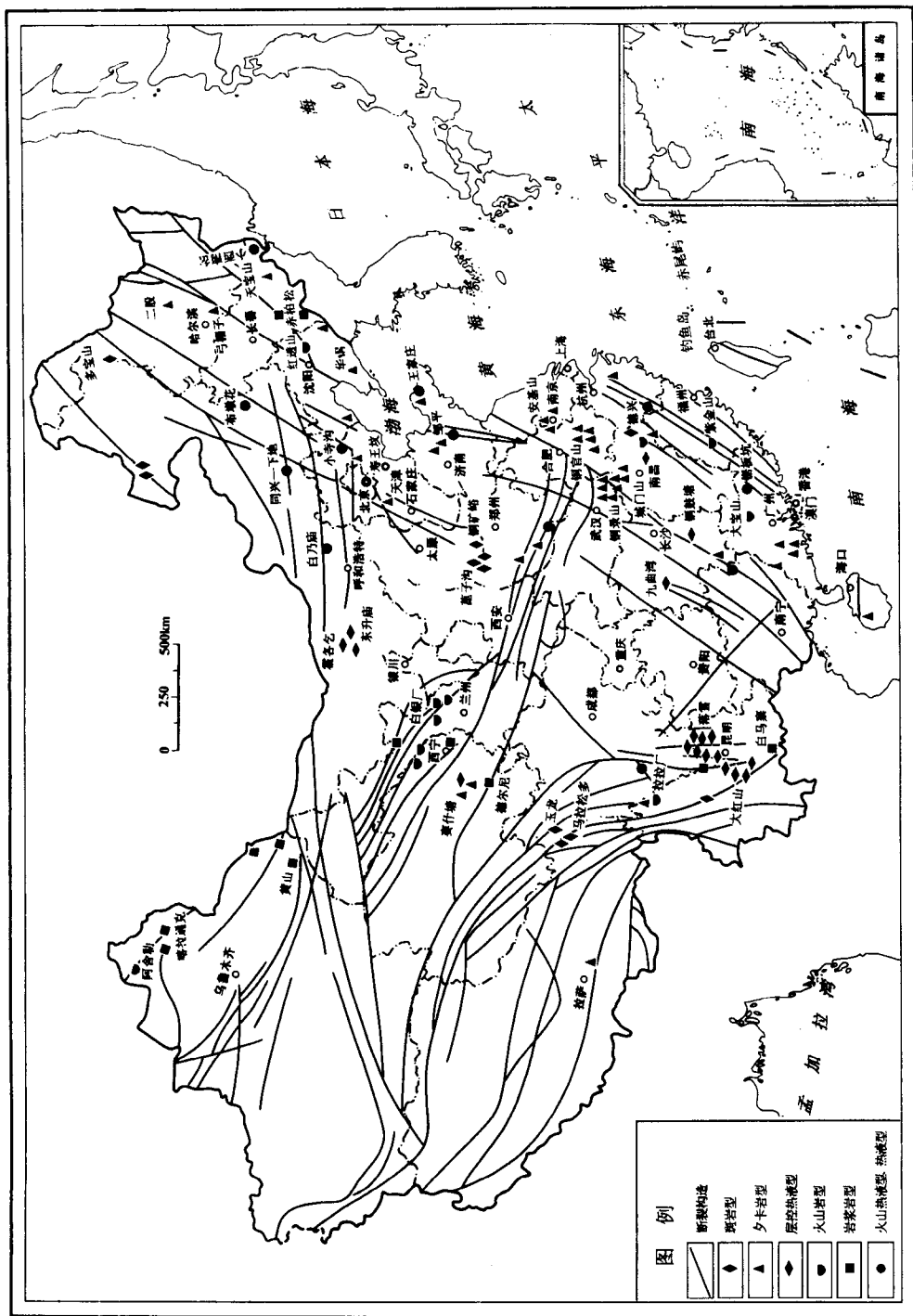


图 1-2-1 中国主要大中型铜矿分布图
 (矿产资料据中华人民共和国矿产图集(1973)补充;构造图据任纪舜等(1983))

内蒙古、河北、辽宁、吉林、黑龙江等。主要矿床类型有新疆喀拉通克、葫芦、黄山、琼河坝、吉林红旗岭、赤柏松、甘肃金川等岩浆型矿床，内蒙古霍各乞、甲升盘、东升庙等层控热液型矿床，新疆阿舍勒、辽宁红透山、内蒙古白乃庙等火山型矿床，河北寿王坟、辽宁二棚甸子、八家子、华铜、吉林天宝山、黑龙江弓棚子等夕卡岩型矿床，内蒙古乌奴格吐山、头道沟、黑龙江多宝山等斑岩型矿床。

(2) 中部昆仑—秦岭—祁连成矿带 矿床主要受 NW 及 NWW 向昆仑、秦岭和祁连活动带构造控制，主要分布在塔里木-华北板块的南缘及其与华南板块的接触带。成矿时代以古生代为主，涉及省份包括青海、甘肃南部、陕西、山西、河南等。主要矿床类型有火山型矿床，如青海红沟、甘肃白银厂、小铁山等；岩浆型矿床，如青海德尔尼等；斑岩型矿床，如山西铜矿峪、青海纳日贡玛等；层控热液型矿床，如山西蓖子沟、胡家峪、老宝滩等；夕卡岩型矿床，如青海赛什塘等。

(3) 特提斯-喜马拉雅地区 矿床主要受 NW 和 NNW 向构造控制，主要分布在藏滇板块及其与华南板块的接触带，涉及省份包括西藏、云南、四川等。成矿时代除少数中生代外，大部分都为喜马拉雅期。目前已发现有斑岩型（如西藏玉龙、馬拉松多、多霞松多、云南雪鸡坪等）、火山型（如四川拉拉厂、云南大红山）、层控热液型（如云南汤丹、落雪、因民）及岩浆型（如云南白马寨、朱布等）矿床。

(4) 华南板块东部地区 矿床主要受 NE 向构造控制，主要分布在华南板块东部的扬子陆块和南华活动带，涉及省份包括江苏、浙江、福建、江西、湖南、湖北、广东、广西等。成矿时代是多期的。矿床类型多种多样，典型矿床有湖北铜录山、封山洞、江西天排山、安徽铜陵等夕卡岩型矿床，江西德兴、福建钟腾等斑岩型矿床，福建紫金、江西铁砂街、广东大宝山、浙江西裘等火山岩型矿床，湖南铜鼓塘层控热液型矿床，江苏安基山、浙江乌岙、江西枫林等热液型矿床。

2) 铜矿床与岩浆岩关系甚为密切，并明显地具有成矿专属性

如有与基性、超基性岩有关的 Cu-Ni、Cu-Co 等岩浆型铜矿，有与中酸性岩浆岩有关的斑岩型、夕卡岩型等铜矿床。

矿床金属组合与岩浆岩的关系也有一定规律，与基性、超基性岩有关的 Cu-Ni、Cu-Co 矿与偏基性的中性岩有关的岩浆岩形成铁铜矿，中偏酸性岩浆岩形成铜钼矿、铜铅锌矿，而偏酸性岩浆岩 [$w(\text{SiO}_2) > 70\%$] 则形成钼铜矿、铜锡矿。

1.2.2 不同规模主要类型铜矿床比例分析

据宋伯庆 1991 对我国 2 万 t 以上铜矿床的统计结果（表 1-2-1）在我国各种类型铜矿床中，斑岩型铜矿的已探明储量占全国铜矿总储量的 40% 为最大，其次是夕卡岩型铜矿占 26%。此外，岩浆型占 6.5%，火山岩型占 3%，热液型占 8.6%。从平均品位看，在内生铜矿中以热液型为最高，其次为火山岩型。

表 1-2-1 我国各种类型铜矿的储量和品位

	斑岩型	夕卡岩型	岩浆岩型	火山岩型	热液型	沉积变质型	风化型	沉积型
储量百分比/%	40	26	6.5	3	8.6	13	0.56	2.2
平均品位/%	0.61	0.93	0.75	1.39	1.8	1.04	2.26	1.32

（据宋伯庆，1991）

据我们的不完全统计 截止到 1998 年，我国共发现不同类型各种规模内生铜多金属矿床约 224 个(表 1-2-2)。由表中可以清楚地看出，在矿床规模上，以大中型矿为多，约占 61%。在不同成因类型矿床的数量上，以夕卡岩型占主导，约 87 个 其次是热液型 约 42 个 最少的是火山岩型 约占 20 个。若以大型矿床所占同类型矿床的比例而论，则以斑岩型为最多 约占 48% 其次是火山岩和层控热液型 约占 40% 和 34%；岩浆型约占 28% 夕卡岩型约占 11.5% 热液型为最少 仅占 5%左右。

表 1-2-2 不同规模各种类型铜多金属矿统计表

成因类型	规 模			合 计	大型矿占同类矿床比例/%
	大	中	小		
夕卡岩型	10	44	33	87	11.5
斑岩型	13	9	5	27	48.0
火山岩型	8	7	5	20	40.0
岩浆型	7	5	13	25	28.0
热液型	2	10	30	42	4.8
层控热液	8	13	2	23	34.8
合计	48	88	88	224	

上述两表对比可看出，虽然夕卡岩型铜矿床占全国铜矿总储量的 26% 矿床总数占第一位，但却是以中小型矿为主的，大型矿床较少。热液型矿床铜平均品位很高，矿床数量也占第二位，但是大型矿床所占的比例却最低。因此，我们应以寻找斑岩型、火山岩型和层控热液型矿床为重点，其次是岩浆型矿床。

1.2.3 内生铜多金属矿勘查地球化学分类及其特征

如上所述，不同成因类型矿床的成矿地质环境具有明显差异，它们的成矿作用不同，地质特征也不同。根据对中国大约 30 个不同类型铜多金属矿区域地球化学异常分布特征的研究发现，前述七种成因类型矿床均具有明显的区域地球化学异常，但并不是每种类型矿床都具有区别于其他类型矿床的典型地球化学异常特征。例如，斑岩型、夕卡岩型和热液型矿床，虽然它们的矿床地质特征有很大差异，但由于其成矿的基本地质条件相近，即均与中酸性岩浆热液活动有关，所以它们的区域地球化学异常组合和分布基本相似，没有显著差异。因此，完全基于矿床的成因类型总结和建立的不同类型矿床的区域地球化学异常特征与模式，不适合于利用区域地球化学资料进行区域找矿预测。

任何找矿勘探工作都是以地质条件和地质特征为基础进行的，尤其是在利用物化探资料进行成矿预测时，更应该以一定的成矿地质特征为基础。以区域地球化学异常特征为基础，结合矿床的成矿作用和地质特征，将内生铜矿床分为四种勘查地球化学类型（史长义等，1998）即与火山岩有关的铜矿、与基性-超基性岩有关的铜矿、与中酸性岩浆岩有关的铜矿和层控热液型铜矿(表 1-2-3)。这种分类便于利用 1:20 万水系沉积物测量的地球化学资料进行区域找矿预测。各种类型铜矿床的典型地质特征见表 1-2-4。

表 1-2-3 内生铜矿床勘查地球化学分类与成因分类对比表

勘查地球化学分类(史长义等,1998)	成因类型分类(刘兰笙,1986)
与火山岩有关的铜矿	火山型铜矿
与基性-超基性岩有关的铜矿	岩浆型铜矿
与中酸性岩浆岩有关的铜矿	斑岩型、夕卡岩、热液型铜矿
层控热液型铜矿	层控热液型铜矿

表 1-2-4 各种类型铜矿床典型特征

矿床类型	典型特征	实例	
与基性-超基性岩有关的铜矿	矿体在时间和空间上与基性-超基性岩体紧密共生。含矿岩体一般分异较好,矿石矿物主要有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿等,其次为方黄铜矿、针镍矿等。成矿时代以元古宙为主,其次为加里东期和华力西期	金川、红旗岭、德尔尼、赤柏松、喀拉通克	
与火山有关的铜矿	海相火山岩型(黄铁矿型、块状硫化物型)	含矿岩石类型有偏碱性海相火山岩和细碧角斑岩系及流纹-安山-玄武岩系。矿床多产于地槽隆起区的边部及深大断裂附近。矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿。围岩蚀变有绿泥石化、绢云母化、硅化、碳酸岩化、钠长石化等。成矿时代主要是前寒武纪和早古生代	拉拉厂、大红山、白银厂、阿舍勒、铁砂街
	陆相火山岩型	多见于地台区火山断陷盆地及其周围较老地体中,与富钾质的安山岩-英安岩-流纹岩系列有关,成矿时代主要为晚古生代和中生代	银山、紫金、大井
与中酸性岩浆有关的铜矿	斑岩型(细脉浸染型)	矿床在时间和空间上都与中酸性浅成、超浅成岩及次火山岩有关,岩体之 $w(\text{SiO}_2) = 65\% \sim 71\%$, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) > 7\%$ 。矿体主要在围岩中及围岩接触带附近。围岩蚀变是斑岩铜矿的重要特征之一,蚀变类型有硅化、钾化、石英绢云母化、绢云母化、青磐岩化	玉龙、德兴、多宝山、八大关、钟腾、蕨子沟、胡家峪
	夕卡岩型	矿体主要赋存于中酸性小侵入体与碳酸盐岩的接触带。矿体形态复杂,受接触带控制。矿石矿物比较复杂,有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、磁铁矿、闪锌矿等	铜山口、铜录山、铜官山、伏牛山
	热液型	与中酸性岩浆岩、火山岩及次火山岩有关的铜矿。主要是岩浆期后热液成矿,矿体主要充填于构造裂隙中。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、碳酸岩化、萤石化	布敦花、铜厂顶、西裘
层控热液型铜矿	层控热液型(层状铜矿)	与岩体无明显联系。赋矿岩石主要为碳酸盐岩建造。矿体受一定层位或岩性控制明显。矿石矿物主要为黄铜矿、次为黄铁矿、斑铜矿、磁黄铁矿。沉积变质形成	霍各乞、东川

(据刘兰笙 1986)资料补充编制)

1.3 各类型铜矿区域地球化学异常统计参数特征分析

表 1-3-1 给出了中国部分大、中型铜多金属矿田水系沉积物铜异常的地球化学统计参数。从中可看出,异常规模和异常强度受景观类型、矿床成因和出露条件的影响较大。

(1) 铜异常面积在 $24 \sim 156\text{km}^2$ 之间,以湿润低山丘陵区的安徽沙溪隐伏中型斑岩铜矿的异常面积为最小(24km^2)以湿润中山区的云南老厂-卡房大型夕卡岩型铜矿的异常面积为最大(156km^2)。同一成因类型相同规模的矿床,因景观条件的不同,铜异常面积差异较大。如大型火山型矿床的铜异常面积是湿润低山丘陵区 > 湿润中低山区 > 干旱荒漠区;大型斑岩型矿床中以高山峡谷区铜异常面积为小,湿润低山丘陵区铜异常面积为大。高山峡

谷区的铜异常面积较之同类型的其他景观的异常面积为小。在湿润低山丘陵区，以斑岩型矿床的铜异常面积为大。在湿润中、低山区，以夕卡岩和火山岩型矿床的异常面积为大。在整个湿润地区，大型矿床的铜异常面积普遍大于中小型矿床，然而在总体上异常面积与矿床规模没有明显正相关关系。如在湿润低山丘陵区，大型火山型矿床的异常面积略大于中型矿床；中型岩浆矿床的异常面积则大于大型矿床；而对于夕卡岩型矿床，中—大型矿床的异常面积为 72~108km² 中型矿床的异常面积为 80~84km²。

表 1-3-1 中国部分大、中型铜多金属矿田水系沉积物 Cu 异常地球化学参数

矿床名称	景观类型	异常面积 km ²	异常均值 $w(\text{Cu})/10^{-6}$	离差	平均 衬值	规模	成因 类型	备注
甘肃白银厂	干旱荒漠	40	89.83	54.448	1.117	大型	火山型	
新疆阿舍勒	干旱荒漠	60	43.973	17.488	1.107	大型	火山型	半隐伏矿
内蒙古同兴-下地	干旱荒漠	80	43.235	18.918	1.399	中型	热液型	
内蒙古布敦花	干旱荒漠	152	113.323	369.404	1.641	中型	热液型	
四川铜厂顶	峡谷区	106	273.179	625.393	1.358	中型	热液型	
西藏玉龙	高山峡谷	72	718.078	1691.58	1.446	大型	斑岩型	深切割区
西藏莽总	高山峡谷	64	160.329	278.269	1.769	中型	斑岩型	深切割区
西藏马拉松多-多霞松多	高山峡谷	80	41.565	36.405	1.157	大型	斑岩型	深切割区
黑龙江多宝山	森林沼泽	104	62.919	40.208	1.252	中型	斑岩型	
黑龙江二股	森林沼泽	44	22.182	2.238	1.075	中型	夕卡岩型	
河北小寺沟	湿润中山	60	126.933	146.416	2.138	中型	斑岩型	
云南老厂-卡房	湿润中山	156	1088.91	1233.68	4.238	大型	夕卡岩型	
河北寿王坟	湿润中山	64	113.519	117.283	1.759	中型	夕卡岩型	
四川拉拉厂	湿润中低山	72	53.833	42.591	1.599	大型	火山型	
福建紫金	湿润中低山	136	61.859	73.066	2.609	大型	火山型	
江西银山	湿润低山丘陵	80	78.385	84.207	1.377	大型	火山型	隐伏、半隐伏矿
江西铁砂街	湿润低山丘陵	60	69.733	113.103	1.512	中型	火山型	
江西德兴	湿润低山丘陵	108	228.711	329.437	3.006	大型	斑岩型	
吉林小西南岔	湿润低山丘陵	128	112.872	165.103	1.819	大型	斑岩型	
安徽沙溪	湿润低山丘陵	24	24.333	6.831	1.047	中型	斑岩型	隐伏矿
江西天排山	湿润低山丘陵	80	125.06	209.629	1.655	大型	斑岩型	
江西城门山	湿润低山丘陵	32	210.775	451.004	1.404	大型	夕卡岩型	异常未封闭
江西武山	湿润低山丘陵	68	208.547	304.987	1.65	大型	夕卡岩型	异常未封闭
安徽铜官山-狮子山	湿润低山丘陵	72	112.222	169.485	1.502	中-大	夕卡岩型	
安徽新桥-凤凰山	湿润低山丘陵	108	110.185	125.092	1.274	中-大	夕卡岩型	
湖北封三洞	湿润低山丘陵	80	357.848	620.289	2.862	中型	夕卡岩型	
湖南宝山	湿润低山丘陵	84	185.762	208.564	2.457	中型	夕卡岩型	
辽宁二棚甸子	湿润低山丘陵	80	29.29	6.74	1.074	中型	夕卡岩型	
吉林红旗岭	湿润低山丘陵	84	42.048	75.917	1.087	大型	岩浆型	
吉林赤柏松	湿润低山丘陵	116	28.552	5.487	1.086	中型	岩浆型	为大面积弱异常
江西枫林	湿润低山丘陵	52	153.069	176.559	2.288	中小	层控热液	

异常面积为 Cu 衬值异常确定。

(2) 铜异常强度界于 $(22.18 \sim 1088.91) \times 10^{-6}$ 之间 多数在 $(30 \sim 200) \times 10^{-6}$ 。从不同类型矿床的铜异常强度看，夕卡岩型 > 热液型 > 斑岩型 > 火山型 > 岩浆型。从不同景观各类矿床铜异常平均值分析，干旱荒漠区、森林沼泽区和湿润中低山区较低，其他景观区则较

高；而在湿润低山丘陵区，则以南方比北方高为特征。从相同景观相同成因类型矿床的异常强度对比看，高山峡谷区大型斑岩型矿床的铜异常强度是 $(41.565 \sim 718.078) \times 10^{-6}$ ，中型矿床的异常强度是 160.329×10^{-6} ；在湿润中山区的夕卡岩矿床中，大型矿床的异常强度大于中型矿；在湿润低山丘陵区的火山型矿床中，大型矿床的异常强度与中型矿的异常强度差异不大；在湿润低山丘陵区的夕卡岩矿床中，大型矿床的异常强度为 $(110.185 \sim 210.775) \times 10^{-6}$ ，中型矿床的异常强度为 $(29.29 \sim 357.848) \times 10^{-6}$ 。显然，异常强度与矿床规模也没有明显的正相关关系。

地球化学背景值的高低制约着异常下限的高低，而异常下限的高低则直接影响着异常面积和异常强度。在地球化学背景值高低不同的地区，背景值高的地区，异常下限就高，异常面积可能就减小，异常强度可能就大。在地球化学背景值相近的地区，异常下限的提高或降低，则会影响异常面积和异常强度的增大或减小。

综上所述，异常强度和异常规模是受景观类型、矿床成因、矿床的产出条件和异常下限以及其所处的地质地球化学背景等诸多因素制约的。在理论上异常面积和异常强度与其矿床规模成正比关系，但是实际情况并不一定完全如此。吉林的赤柏松矿床，异常面积达 116km^2 而异常平均值和平均衬值仅为 28.6×10^{-6} 和 1.09 表现为一大面积的弱异常 这可能与该地区铜的地球化学背景值低有关。西藏的玉龙铜矿，异常平均值和平均衬值为 718.1×10^{-6} 和 1.45 而异常面积却为 72km^2 ，这可能与该地区水系切割较深不无关系。新疆的阿舍勒大型铜矿床由于其为半隐伏矿床使得其异常面积和异常强度均较小。安徽沙溪隐伏斑岩铜矿的异常面积和异常强度均属最小之列。

在影响异常面积和异常强度的各种因素中，异常下限、景观类型和矿床产出条件的作用较大，成因类型影响较小。因此，异常面积和异常强度与其矿床规模并不一定成正相关关系 在根据 1:20万水系沉积物异常进行成矿预测时，不宜单纯依据异常面积或异常强度来推测矿床规模，要综合考虑各种因素带来的影响。

表 1-3-2 列出了各种类型铜多金属矿田上 39 种元素区域地球化学异常的平均含量及其变化范围，可以看出同一类型不同矿田之间和不同类型不同矿田之间，异常的平均含量水平是不同的，且变化范围比较大。例如，不同类型不同矿田 Pb 异常的平均含量在 $(12.38 \sim 5742.52) \times 10^{-6}$ 其中火山岩型铜矿 Pb 异常的平均值为 176.74×10^{-6} 变化范围在 $(25 \sim 342.36) \times 10^{-6}$ ；夕卡岩型铜矿 Pb 异常的平均值为 646.2×10^{-6} ，变化范围在 $(23.67 \sim 5742.52) \times 10^{-6}$ ；斑岩型铜矿 Pb 异常的平均值为 94.69×10^{-6} ，变化范围在 $(12.38 \sim 291.38) \times 10^{-6}$ 热液型铜矿 Pb 异常的平均值为 77.11×10^{-6} ，变化范围在 $(33.18 \sim 150.54) \times 10^{-6}$ 岩浆型铜矿 Pb 异常的平均值为 21.68×10^{-6} 变化范围在 $(14.33 \sim 28.4) \times 10^{-6}$ 层控型铜矿 Pb 异常的平均值为 337.7×10^{-6} 变化范围在 $(18.44 \sim 1295.6) \times 10^{-6}$ 。Zn 异常的平均含量在 $(72 \sim 3634.54) \times 10^{-6}$ ；其中火山岩型铜矿 Zn 异常的平均值为 189.54×10^{-6} ，变化范围在 $(113.94 \sim 334.65) \times 10^{-6}$ 夕卡岩型铜矿 Zn 异常的平均值为 528.98×10^{-6} ，变化范围在 $(73.5 \sim 3634.54) \times 10^{-6}$ ；斑岩型铜矿 Zn 异常的平均值为 140.25×10^{-6} ，变化范围在 $(72 \sim 253.24) \times 10^{-6}$ 热液型铜矿 Zn 异常的平均值为 183.29×10^{-6} 变化范围在 $(124.24 \sim 292.11) \times 10^{-6}$ 岩浆型铜矿 Zn 异常的平均值为 77.07×10^{-6} 变化范围在 $(74.65 \sim 78.36) \times 10^{-6}$ 层控型铜矿 Zn 异常的平均值为 519.56×10^{-6} 变化范围在 $(61.76 \sim 2543.5) \times 10^{-6}$ 。

表 1-3-2 不同类型铜多金属矿田 39 种元素异常平均值

元素	与火山岩有关的铜矿		与中酸性岩类有关的铜矿		与基性-超基性岩有关的铜矿		层控热液型铜矿	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
Ag	0.12~2.66	0.96	0.12~8.87	1.39	0.12~.66	0.35	0.17~1.31	0.65
Al	10.65~14.93	12.38	10.69~20.72	13.33	12.47~14.7	13.76	11.78~14.99	13.42
As	6.05~129.59	57.98	7.43~1789.19	192.25	7.7~115.65	44.74	112.34~148.62	133.26
Au	1.3~45.47	13.04	.97~238.73	29.87	1.33~55.4	16.07	0.87~19.57	6.91
B	22.95~91.88	45.49	22.66~310.52	80.12	11.93~146.38	58.07	45.33~79.21	63.11
Ba	256.45~542.8	397.35	179.27~654.33	461.25	310.77~677.73	485.30	388.57~661.18	539.98
Be	1.52~2.44	2.10	1.84~25.09	4.62	1.56~2.76	2.28	2.03~2.56	2.30
Bi	0.17~4.66	1.44	.43~92.59	15.17	2.2~9.81	2.24	.58~4.27	2.36
Ca	0.21~5.04	1.48	.67~3.48	1.96	3~6.16	2.53	1.43~4.49	2.47
Cd	0.29~2.46	1.04	.14~15.65	3.06	.09~.88	0.44	.39~.72	0.57
Co	9.63~14.97	11.89	10.36~52.99	18.30	12.42~16.12	14.57	9.59~30.27	16.29
Cr	35.62~77.27	54.24	46.83~140.49	75.06	47.91~104.35	70.89	23.06~74.07	45.60
Cu	41.11~586.16	154.72	19.62~1343.3	242.85	58.1~1095.94	255.88	36.81~287	151.14
F	336.83~595.79	490.58	437.6~2516.67	1058.46	426.35~718.4	583.99	608.89~710.11	658.96
Fe	4.76~17.1	7.05	4.43~20.13	6.88	5.16~7.31	6.02	4.44~10.09	6.29
Hg	30~310.68	105.26	40~611.44	164.16	20~88.11	40.76	6.76~130	65.84
K	1.9~2.32	2.10	1.32~2.96	2.13	1.52~2.69	2.25	1.95~3.13	2.52
La	26.7~51.6	37.95	33.18~65.39	47.49	30.87~41.92	37.66	22.88~47.93	36.05
Li	17.36~50.25	31.02	28.95~79.62	42.18	22.04~49.62	37.23	26.54~55.52	37.44
Mg	0.46~2.18	1.10	.55~2.75	1.32	.92~3.4	1.90	.68~2.32	1.45
Mn	579.41~1194.77	875.86	671~9663.56	1985.51	678.7~999.91	843.14	723.33~1563.32	1099.24
Mo	1.13~39.67	8.66	1.35~25.1	6.44	1.23~9.04	3.79	1.31~2.96	1.95
Nb	0.11~2.29	0.84	.15~11.13	1.56	.34~2.43	1.26	.89~2.38	1.50
Ni	10.21~21.6	14.84	14.61~29.33	19.38	10.22~15.85	13.19	6.27~28.71	17.32
P	11.4~33.55	21.58	18.69~123.82	39.15	22.39~59.06	31.33	13.61~51.11	25.28
Pb	404.62~840	562.11	384.75~4468.88	933.77	611.15~1594.64	858.53	312.52~1279.32	787.08
Pb	25~342.36	176.74	23.67~5742.52	646.20	12.36~291.39	94.69	33.18~150.54	77.11
Sb	0.51~29.31	7.80	4~96.98	12.50	.27~7.98	3.90	1.11~4.41	2.21
Si	56.72~76.52	66.72	33.79~72.76	62.77	50.71~66.31	59.87	58.76~66.5	63.15
Sr	1.79~31.86	9.22	2.5~1756.83	151.81	2.5~4.24	3.35	4.77~22.46	13.54
Sr	24.64~209.31	97.71	56.91~266.75	140.00	53.62~295.41	171.87	49.8~287.06	141.16
Th	10.14~21.82	15.74	11.36~58.39	20.91	7.71~14.84	11.11	11.09~12.6	11.78
Ti	2858.84~4410.44	3536.99	4053.15~10412.3	5644.53	3240.23~4975.22	4047.74	2533.11~8838.93	4906.87
U	1.91~7.93	3.81	1.88~13.21	4.49	1.57~3.22	2.54	1.72~4.44	2.72
V	60.36~164.5	96.15	58.84~244.81	118.39	80.04~125.22	96.06	65.94~177.98	108.14
W	1.17~318.56	56.59	2.15~175.62	22.72	1.71~9.96	4.30	1.76~5.53	3.85
Y	20.46~31.3	25.39	19.61~34.02	27.77	20.92~29.51	24.71	23.98~29.02	25.75
Zn	113.94~334.65	189.54	73.5~3634.54	528.98	72~253.24	140.25	124.24~292.11	183.29
Zr	149.14~388.41	274.69	111.94~412.92	281.72	199.61~373.73	249.82	179.11~277.61	219.08

注:①含量单位:Au、Hg为10⁻⁹; Al、Ca、Fe、K、Mg、Na、Si为%,其他为10⁻⁶;②n=矿床个数。