

中国铜多金属矿田区域地质地球化学 异常结构模式及预测评价

史长义 张金华 黄笑梅 著

地质出版社

原地矿部百名跨世纪科技人才培养计划资助

中国铜多金属矿田区域地质 地球化学异常结构模式及预测评价

史长义 张金华 黄笑梅 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

作者以全国各种类型铜多金属矿田的区域地质地球化学资料为基础,从系统论观点出发,提出了多元素异常组合划分的方法和矿田区域地球化学异常结构模式的新概念,以多元素异常的空间有序分布结构来表征与成矿有关元素的“总体成矿异常面貌”特征;系统论述了13个矿田2个矿带(近40个矿床)的区域地质地球化学异常结构模式。

图书在版编目(CIP)数据

中国铜多金属矿田区域地质地球化学异常结构模式及预测评价/史长义等著.

-北京:地质出版社,2002.7

ISBN 7-116-03625-3

I.中... II.史... III.铜矿床:多金属矿床-区域地质-地球化学-
结构模式-中国 IV. P618.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 046559 号

责任编辑:陈军中

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:8.5

字 数:190千字

印 数:1-700册

版 次:2002年7月北京第一版·第一次印刷

定 价:20.00元

ISBN 7-116-03625-3/P·2277

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

目前,各种类型的矿床模式和以矿床原生晕为基础的地球化学找矿模式多有报道,但是它们多数不适合于利用 1:20 万区域地球化学资料进行找矿预测。以矿田为研究对象,系统论述矿田区域地球化学异常模式方面的专著,在国内外少见。

我国的区域地球化学资料在基础地质调查、地质找矿、环境与农业调查中发挥了重大作用。如何充分开发和利用这些宝贵资料用于区域找矿预测是当前的重要研究课题,模型研究则是其中内容之一。在众多的矿床模型和找矿模型(式)研究中,本书作者另辟蹊径,放弃了传统的模型研究思路,从系统论的观点出发,以全国不同大地构造环境、不同景观区的各种类型铜多金属矿田的区域地质地球化学资料为基础,通过系统地归纳和总结,提出了多元素异常组合划分的方法和矿田区域地球化学异常结构模式的新概念,以多元素异常的空间有序分布结构来表征总体的“成矿异常面貌”特征。多元素异常组合的划分方法(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)是异常结构模式研究的基础,它突出了(以常量元素为主的)成矿环境元素和区域负异常的地质和地球化学意义;作者认为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。从勘查地球化学的角度出发,作者将内生铜矿划分为与火山岩有关的铜矿、与中酸性岩浆岩有关的铜矿、与基性-超基性岩有关的铜镍矿及层控热液型铜矿四大类,这有助于利用区域地球化学资料进行区域成矿预测。

本书从勘查地球化学出发,以异常结构模式为基础,系统论述了 13 个与火山岩有关的铜多金属矿田、与中酸性岩浆岩有关的铜多金属矿田及与基性-超基性岩有关的铜镍矿田(约 30 个矿床)的区域地质地球化学异常结构模式,并给出了 2 个成矿带区域地质地球化学异常结构模式的范例。书中系统地总结了各种类型铜多金属矿的 39 种元素的区域地球化学特征,论述了大中型铜多金属矿的区域地球化学异常预测与定量评价指标,并对中国铜的区域成矿地球化学趋势进行了初步分析。

本书是在作者承担的原地矿部“八五”科技攻关项目所取得的科研成果的基础上,近几年又进行了较深入的理论研究总结而成;项目得到了原“地矿部百名跨世纪科技人才培养计划”的资助。在项目的执行过程中,原地矿部科技司、勘探司、中国地质勘查技术院和物化探研究所等项目主管部门领导和专家给予了大力支持和帮助,有关地勘单位为我们提供大量的地质地球化学资料,在此笔者谨向关心、支持过本研究工作的单位、领导、专家表示诚挚的谢意。由于作者水平有限,缺点、错误和观点认识不足之处,敬请批评指正。

作 者

2000 年 12 月 于河北廊坊

目 录

前 言

第1章 概 论	(1)
1.1 矿田区域地质地球化学异常结构模式	(1)
1.1.1 矿床模式、异常模式及研究现状	(1)
1.1.2 矿田区域地质地球化学异常结构模式	(2)
1.2 内生铜多金属矿床的分类及其特征	(10)
1.2.1 内生铜矿成因分类及其分布规律	(10)
1.2.2 不同规模主要类型铜矿床比例分析	(12)
1.2.3 内生铜多金属矿勘查地球化学分类及其特征	(13)
1.3 各类型铜矿区域地球化学异常统计参数特征分析	(14)
第2章 成矿带区域地质地球化学异常结构模式	(18)
2.1 西藏玉龙-马拉松多斑岩型铜成矿带区域地质地球化学异常结构模式	(18)
2.1.1 矿带区域地质环境	(18)
2.1.2 矿带区域地球化学异常分布特征	(18)
2.1.3 矿带遥感和航磁异常特征	(23)
2.1.4 玉龙-马拉松多斑岩型铜矿带地、物、化、遥综合结构模式	(25)
2.2 江西德兴复合型铜多金属成矿带区域地质地球化学异常结构模式	(27)
2.2.1 矿带区域地质环境	(27)
2.2.2 矿带区域地球化学异常分布特征	(27)
2.2.3 矿带区域地质地球化学异常结构模式	(30)
第3章 不同类型大中型铜多金属矿田区域地质地球化学异常结构模式	(33)
3.1 与火山岩有关的铜多金属矿田区域地质地球化学异常结构模式	(33)
3.1.1 福建紫金山铜金矿田区域地质地球化学异常结构模式	(33)
3.1.2 新疆阿舍勒铜锌矿田区域地质地球化学异常结构模式	(38)
3.1.3 甘肃白银厂铜多金属矿田区域地质地球化学异常结构模式	(45)
3.1.4 四川拉拉厂铜钴矿田区域地质地球化学异常结构模式	(51)
3.1.5 江西银山铅锌铜矿田区域地质地球化学异常结构模式	(54)
3.2 与中酸性岩浆岩有关的铜多金属矿田区域地质地球化学异常结构模式	(60)
3.2.1 江西德兴铜钼矿田区域地质地球化学异常结构模式	(61)
3.2.2 吉林小西南岔铜金矿田区域地质地球化学异常结构模式	(64)
3.2.3 湖南宝山铜铅锌多金属矿田区域地质地球化学异常结构模式	(70)
3.2.4 安徽新桥-凤凰山铜矿田区域地质地球化学异常结构模式	(74)
3.2.5 内蒙古布敦花铜矿田区域地质地球化学异常结构模式	(77)
3.2.6 西藏玉龙铜钼矿田区域地质地球化学异常结构模式	(81)

3.3 与基性-超基性岩有关的铜镍矿田区域地质地球化学异常结构模式	(87)
3.3.1 新疆喀拉通克铜镍矿田区域地质地球化学异常结构模式	(87)
3.3.2 吉林红旗岭铜镍矿田区域地质地球化学异常结构模式	(92)
第4章 大中型铜多金属矿区域地球化学异常预测与定量评价指标	(98)
4.1 大中型铜多金属矿区域地球化学异常预测评价标志	(98)
4.1.1 与中酸性岩浆岩有关的铜多金属矿田区域地质地球化学异常评价标志	(98)
4.1.2 与火山岩有关的铜多金属矿田区域地质地球化学异常评价标志	(99)
4.1.3 与基性-超基性岩有关的铜镍矿田区域地质地球化学异常评价标志	(100)
4.2 大中型铜多金属矿区域地球化学异常定量评价指标	(100)
4.2.1 以 c_{DOM} 值推测主成矿元素	(100)
4.2.2 以 $\frac{w(Cu) \times w(Ag)}{w(Pb) \times w(Zn)}$ 比值推测成矿类型	(102)
4.2.3 以 c_{DOD} 值预测成矿规模	(102)
4.2.4 不同剥蚀水平矿床异常特征对比	(103)
第5章 中国铜的区域成矿地球化学趋势分析	(104)
5.1 中国铜的区域地球化学分布趋势	(104)
5.2 中国铜地球化学省(域)	(105)
5.3 中国铜的区域成矿地球化学模式与特征分析	(107)
5.4 中国铜的区域成矿趋势分析	(108)
参考文献	(111)
英文摘要	(113)
附表1 火山岩型铜多金属矿田异常参数统计表	(122)
附表2 斑岩型铜多金属矿田异常参数统计表	(123)
附表3 夕卡岩型铜多金属矿田异常参数统计表	(124)
附表4 热液型铜多金属矿田异常参数统计表	(125)
附表5 岩浆型铜多金属矿田异常参数统计表	(125)
附表6 层控热液型铜多金属矿田异常参数统计表	(126)
附表7 区域化探中 39 种元素地壳克拉克值	(127)

Content

Preface

Chapter 1 Introduction	(1)
1. 1 The model for spatial structures of regional geochemical multi-element anomalies of orefields	(1)
1.1.1 Ore deposit models, anomaly models and their presents	(1)
1.1.2 The model for spatial structures of regional geochemical multi-element anomalies of orefields	(2)
1. 2 The classifications of endogenetic copper-polymetallic deposits and their characteristics	(10)
1.2.1 The classifications of endogenetic copper-polymetallic deposits and their distribution characteristics	(10)
1.2.2 The analysis of the proportion of major types of copper-polymetallic deposits at different scales	(12)
1.2.3 The exploration geochemical classifications of endogenetic copper-polymetallic deposits and their characteristics	(13)
1.3 The regional geochemical anomaly parameters of different types of copper-polymetallic deposits	(14)
Chapter 2 The model for spatial structures of regional geochemical multi-element anomalies and geology of ore zones	(18)
2. 1 RAGSS model of Yulong-Malasongduo porphyry copper ore zone in Xizhang (Tibet)	(18)
2.1.1 Regional geological environment of Yulong-Malasongduo ore zone	(18)
2.1.2 Distributions of regional geochemical anomalies of Yulong-Malasongduo ore zone	(18)
2.1.3 Remote sensing and aeromagnetic anomalies of Yulong-Malasongduo ore zone	(23)
2.1.4 RAGSS model of geological, geophysical and geochemical anomalies of Yulong-Malasongduo ore zone	(25)
2. 2 RAGSS model over Dexing compounded copper-polymetallic ore zone in Jiangxi province	(27)
2.2.1 Regional geological environment of Dexing ore zone	(27)
2.2.2 Distributions of regional geochemical anomalies of Dexing ore zone	(27)
2.2.3 RAGSS model of Dexing ore zone	(30)
Chapter 3 The RAGSS models for different types of medium to large copper-polymetallic orefields	(33)

3.1	RAGSS models for copper-poly-metallic orefields related to volcanic rocks	(33)
3.1.1	RAGSS model of Zijinshan copper-gold orefield in Fujian	(33)
3.1.2	RAGSS model of Ashele copper-zinc orefield in Xijiang	(38)
3.1.3	RAGSS model of Baiyinchang copper orefield in Gansu	(45)
3.1.4	RAGSS model of Lalachang copper-cobalt orefield in Sichuan	(51)
3.1.5	RAGSS model of Yinshan lead-zinc-copper orefield in Jiangxi	(54)
3.2	RAGSS models for copper-poly-metallic orefields related to intermediate-acidic magmatic rocks	(60)
3.2.1	RAGSS model of Dexing copper-molybdenum orefield in Jiangxi	(61)
3.2.2	RAGSS model of Xiaoxinancha copper-gold orefield in Jilin	(64)
3.2.3	RAGSS model of Baoshan copper-lead-zinc orefield in Hunan	(70)
3.2.4	RAGSS model of Xinqiao-Fenghuangshan copper orefield in Anhui	(74)
3.2.5	RAGSS model of Budunhua copper orefield in Inner Mongolia	(77)
3.2.6	RAGSS model of Yulong copper-molybdenum orefield in Tibet	(81)
3.3	RAGSS models for copper-poly-metallic orefields related to basic-ultrabasic rocks	(87)
3.3.1	RAGSS model of Kalatongke copper-nickel orefield in Xijiang	(87)
3.3.2	RAGSS model of Hongqiling copper-nickel orefield in Jilin	(92)
Chapter 4	Regional geochemical anomaly prediction and quantitative evaluation indicators for medium and large copper-poly-metallic deposits or orefields	(98)
4.1	Regional geochemical anomaly prediction and evaluation indicators for medium and large copper-poly-metallic deposits or orefields	(98)
4.1.1	Regional geochemical anomaly prediction and evaluation indicators for copper orefields related to intermediate-acidic magmatic rocks	(98)
4.1.2	Regional geochemical anomaly prediction and evaluation indicators for copper orefields related to volcanic rocks	(99)
4.1.3	Regional geochemical anomaly prediction and evaluation indicators for copper-nickel orefields related to basic-ultrabasic rocks	(100)
4.2	Quantitative evaluation indexes of Regional geochemical anomaly for medium and large copper-poly-metallic deposits or orefields	(100)
4.2.1	Major ore elements predicted using the c_{DOM} values	(100)
4.2.2	Ore types predicted using the ratio values of $w(Cu) \times w(Ag) / w(Pb) \times w(Zn)$	(102)
4.2.3	Ore dimensions estimated by c_{DDO} values	(102)
4.2.4	Comparisons of the anomalies of different erosion levels of deposits	(103)
Chapter 5	Analysis for the metallogenetic tendencies of regional geochemistry of copper of China	(104)
5.1	Regional geochemical distribution tendencies of copper in China	(104)
5.2	Geochemical provinces (or domains) of copper in China	(105)

5.3	Analysis for the regional metallogenetic geochemical models and characteristics	(107)
5.4	Regional metallogenetic potential areas of copper in China	(108)
References		(111)
Abstract		(113)
Appendixes 1-6	Geochemical anomaly parameters of different types of copper-poly metallic orefields	(122)
Appendix 7	Crustal Clark values for 39 elements used by the China's RGNR project	(127)

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”。谢学锦(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,特别是区域性正负异常模式在矿床(田)预测中将起着非常重要的作用。

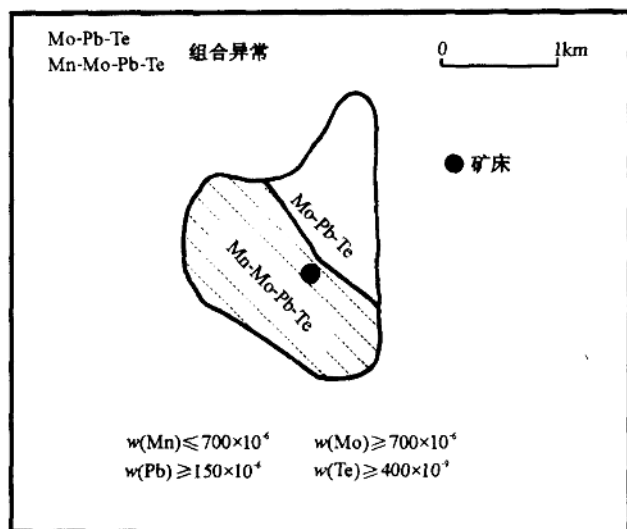


图 1-1-1 红山斑岩铜矿的 Mn、Mo、Pb、Te 区域组合异常模型
(据 Chaffee 等(1981)资料简化)

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

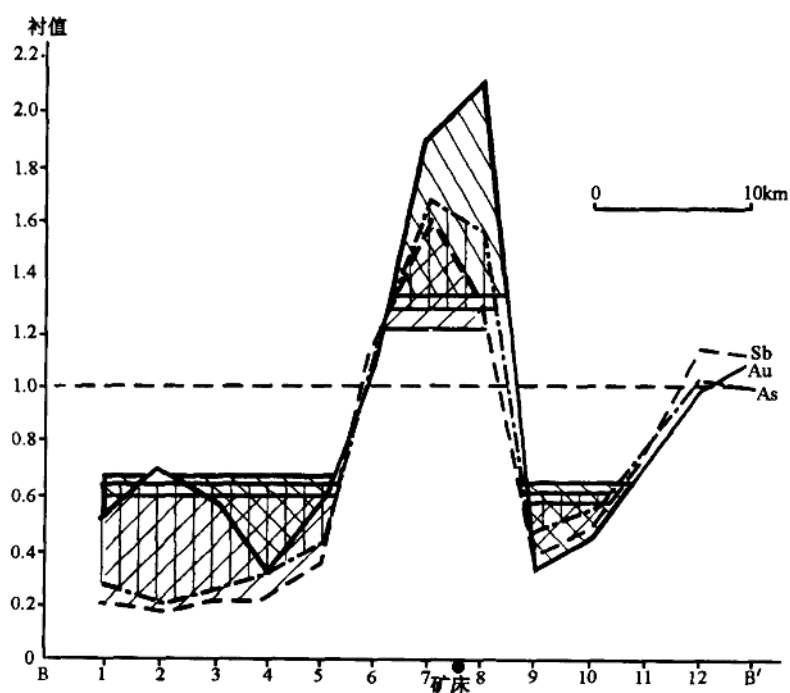
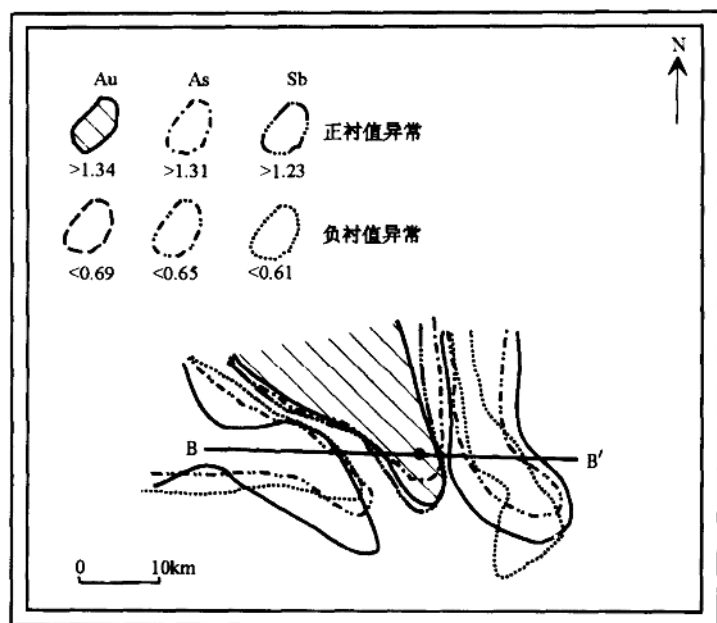


图 1-1-2 青海五龙沟金矿正负区域地球化学异常模式
(据 Shi 等, 1995)

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. Питулько 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,地球化学异常的解釋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。

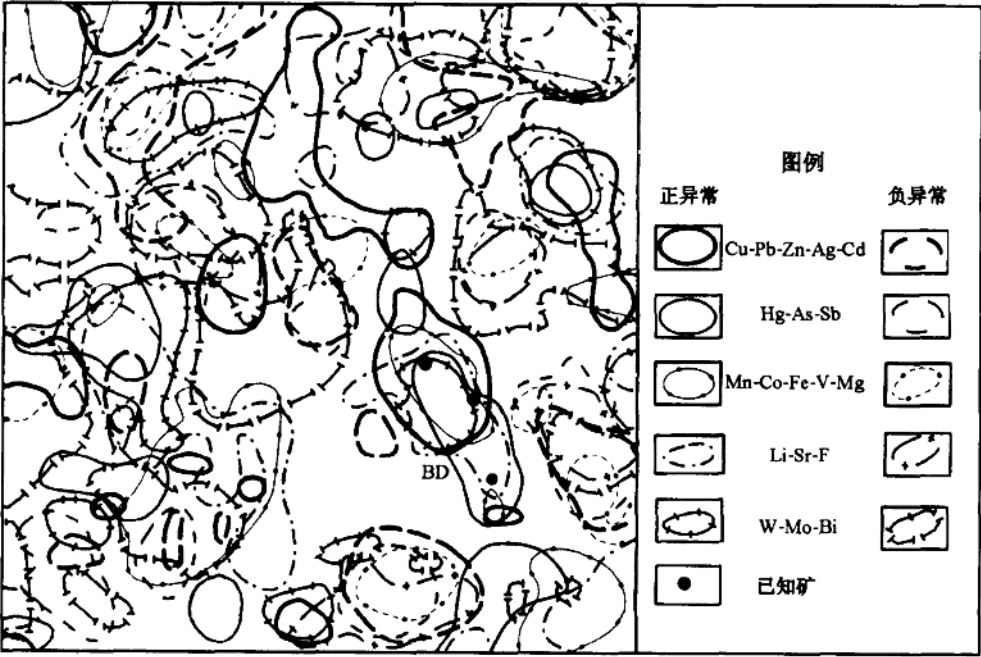


图 1-1-3 内蒙古某地区 5 组多元素正、负区域异常的分布示意图
表示已知矿(BD)上方异常分布呈“有序”结构,无矿地区异常分布呈“无序”状态

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”(metollogenic 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,或强度高低,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性化探普查资料取得的。前已述及,具一定规模($n \times 10 \sim n \times 100 \text{ km}^2$)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,研究它们的多元素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

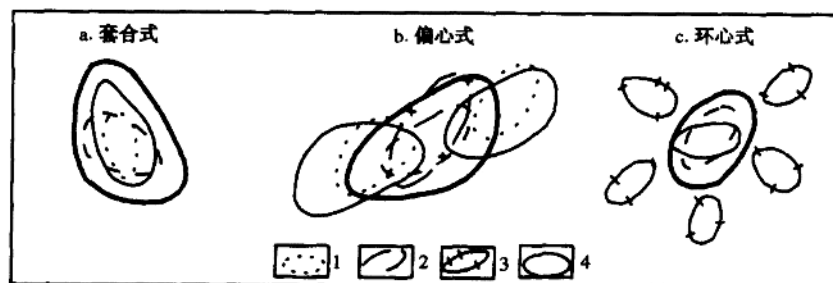


图 1-1-4 异常结构三种表现形式

1~4 是不同等值线示意