

成矿系统及综合地质异常^{*}

翟裕生 邓 军 崔 彬 丁式江 彭润民 王建平 杨立强

(地矿系 北京 100083)

摘 要 矿床综合异常是成矿预测的重要标志。在概述成矿系统特征的基础上,论述了地质异常与成矿系统的关系,提出矿源场异常、矿液通道异常、矿石圈闭异常(储矿场异常)等概念,建立了成矿系统与综合异常的相关性模型框架。提出了矿床综合异常的研究方法,并依据对胶东金矿和赣西北铜矿地质异常的实际研究,提出对找寻热液金属矿床有重要意义的4种异常带:异常浓集带;异常急变带;异常复合带;异常叠加带。并强调指出,对控矿地质因素和矿化类型的详细研究是评价异常和成矿预测的关键问题。

关键词 成矿系统 综合地质异常 地球化学异常 地球物理异常 成矿预测

分类号 P612

第一作者简介 翟裕生,教授,矿床地质学专业,主要从事金属矿床成因和区域成矿学研究。

1 概 述

成矿预测的基本目的是能够预测未发现矿床的位置,并大体知道这些矿床的类型、规模和品位。但是,这一愿望我们目前还未完全实现。专家们运用控矿条件、矿床成因、矿床模型、成矿系列、成矿轨迹、成矿时空结构以及地质异常、物化探异常和遥感异常等多种理论和方法,以达到成功预测的目的,虽有一定成效,但仍有较大风险。因此,成矿预测成为当代最受关注、最复杂的地质课题之一。面临21世纪对多种矿产资源的迫切要求,我们需要在已有工作基础上,建立新的勘查思维方法,研制新的矿产预测和评价技术,在将矿床地质学等学科新成果转化为预测新方法方面取得突破性进展,为正在开展的国土资源大调查作出贡献,为国家提供更多的矿产基地。

矿床是地质异常的产物。赵鹏大教授等^[1,2]提出具有找矿新思路的地质异常理论,并系统阐述了中国地质异常的主要特征。矿床又是区别于一般地质体的异常地质体。形成较大规模的矿床,更需要特定的地质异常条件。在形成矿床的过程中,也必然出现种种异常的地质现象和产物(构造的、岩石

的、矿物的、元素的、流体的……),它们具有一定的几何形状和空间、时间范围。这种局部的地质异常是指示矿床存在的地质标志,是可以看得见摸得着的重要成矿信息。人们对物化探异常作为矿床预测的重要依据已经熟知,解译方法也比较成熟。但是,对于各类地质异常的预测意义却缺乏系统的、深入的研究。由于地质异常的种类繁多,多解性强,涉及面广,一般都由有关学科的专家分别加以研究,如蚀变岩石学、找矿矿物学、矿田构造学、矿床地球化学、矿床水文地球化学以及矿物流体包裹体学等,都作过专门的研究,并利用含矿构造、氧化带铁帽、地化原生晕和次生晕、矿物标型、矿物共生组合、矿化蚀变带等作为预测矿床的重要地质标志,并获得较好的找矿效果。但是总的看来,这些研究是比较分散的,难以形成综合的成矿预测标志。因此,加强对矿床的综合地质异常及其评价意义的研究就显得很有必要。

从宏观看,各类矿化异常又是成矿系统的一个组成部分。因此,有必要从成矿系统与综合异常的关系入手,全面分析各种异常的成因及其与成矿的直接和间接联系,以及各类异常的相互关联,在此基础上找出最关键的含矿异常,建立矿床综合地质异常模型,作为评价异常和找矿的依据。此处提的结合地质异常是广义的,包括地球化学和地球物理等异常在内。

收稿日期:1998-12-10

^{*}受国家科技攀登计划预选项目(项目号:95-预-39和95-预-25)、国土资源部地质科技攻关项目(项目号:95-02-013)和重点科技项目(项目号:9501107)联合资助。

2 成矿系统的要素、作用和产物

矿床是复杂的地质作用的产物,它包括基本控矿因素的有机匹配和多个作用过程的耦合。近年来,研究者们强调运用系统的、整体的观点来研究成矿作用,成矿系统一词常见于矿床研究文献中。例如,热水成矿系统、斑岩成矿系统、成矿系统分析^[3]、内生流体成矿系统^[4]等,但目前对成矿系统这一概念的内涵尚无统一的认识。作者认为:“成矿系统是在一定地质时空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力学过程,以及所形成的矿床、矿化和相关异常构成的整体,是一个具有成矿功能的自然作用系统^[5]”。按照这一定义,一个成矿系统中包括了控矿要素、成矿作用过程、成矿产物(矿床及有关异常)以及成矿后的变化保存等4方面基本内容,体现了与矿床形成有关的物质、运动、能量、空间、时间的统一性和整体性,从而有利于系统、全面和深入地研究成矿规律,以提高成矿预测和矿产勘查工作的成效。

2.1 成矿系统的属性

(1) 成矿系统是地质历史演化的产物,是岩石圈系统乃至整个地球系统的一个组成部分;(2) 成矿系统产生在一定的地质构造环境中,系统与环境之间进行着物质和能量的交换,最终达到成矿组分的高度浓集而形成矿床;(3) 成矿系统具有非线性反馈的动力学机制和自组织能力,从而能自发排除作用过程中的干扰,保持稳定、持续的成矿功能;(4) 成矿系统具有一定的时空范畴,它在空间上是区域尺度,相当于一个成矿带的范围(通常为 $n \times 10^3 \sim n \times 10^4 \text{ km}^2$);在时间上,一个成矿系统从发生到终结,一般需 $10^4 \sim 10^6 \text{ a}$ 时间;(5) 成矿系统具有四维(3D_t)性质,它是动态的,它的内部结构和与外界环境的作用都是随时间而变化的;(6) 成矿系统在地质历史上的演化是不可逆的,其种类、数量有随时间前进而增加、并有复杂化的趋势。

2.2 成矿系统的要素和作用过程

成矿系统的要素有:(1) 矿质来源:包括金属元素、非金属元素、有机质和它们的化合物,按它们的来源有幔源、壳源、壳幔混源、海水、大气降水等。已初步富集矿质的矿源层(岩)固然有利于成矿,不具备矿源岩(层)、但成矿的地质-地球化学作用强烈或反复多次,也可将一般岩石中的某种成矿物质浓集成矿。另外,矿质在岩石中的赋存状

态,是否易于被活化析出也是能否成矿的关键。(2) 成矿流体:是萃取、溶解、输运和浓集成矿物质的媒介。流体的类型有多种。流体的稳定、充分供应是成矿系统能否正常运行的关键。(3) 含矿流体运移通道:包括岩石中的原生和次生裂隙、空洞、孔隙和构造应变形成的断层、破裂和角砾带等。(4) 成矿能量:指成矿作用的原动力,它包括温度梯度、压力梯度、浓度梯度、速度梯度和化学反应亲合力等。如岩浆冷凝体放热、构造应变能、重力能等。有了动力的供给,系统内部得以保持运动状态和自组织能力,从而达到成矿的功能。(5) 矿石堆积场地:即矿床定位场所,是由岩石-构造因素耦合而成,它经常是地球化学障即物理化学性质的突变带,并具有圈闭成矿物质不致分散流失的性能。

成矿系统的作用过程包括:(1) 从矿源地分离、萃取矿质的作用(溶解、交代、淋滤……);(2) 流体输运矿质的作用(水/岩反应、渗滤、淋滤、径流……);(3) 从流体中沉淀矿质的作用(温度、压力突变,流体混合、沸腾、过饱和、蒸发、重力差异堆积……);(4) 矿床形成后的改造作用(热液改造、构造变形、风化剥蚀、变质改造……)。成矿作用发生的基本条件是突变成矿和边界成矿。前者包括成矿参量(T 、 p 、 f_{O_2} 、地应力……)的突变,后者包括各种边缘和界面。也即在具备各项成矿要素时,一旦出现了突变、突发、临界状态和事件,含矿流体即被激发而强烈运动,标志着成矿“机器”的启动。

2.3 成矿系统的产物

成矿系统的产物包括密切联系的两个部分:

(1) 矿床系列:一个成矿系统经过较充分的作用过程,可以形成一系列的产物,其核心产物是不同矿种、不同成因类型矿床所组成的矿床系列(成矿系列)^[6],例如广义斑岩成矿系统中的斑岩型、矽卡岩型、热液脉型、热液角砾岩筒型 Cu、Mo (Au) 矿床等,它们共同组成一个成矿系列。成矿系列具有一定的时空结构,在空间上常表现为集群性(矿集区)、分带性(矿化分带);在时间上显示出阶段性(成矿阶段)、重叠性(叠加成矿);在物质组成上常表现为互补性,即矿产总量不变条件下,矿量在各类矿床中分配的不均一性,是造成一个系统中矿床规模不等的基本原因。

(2) 矿化异常:在成矿系统作用过程中,伴随着矿床(点)的形成,还产生各种异常(地质的、

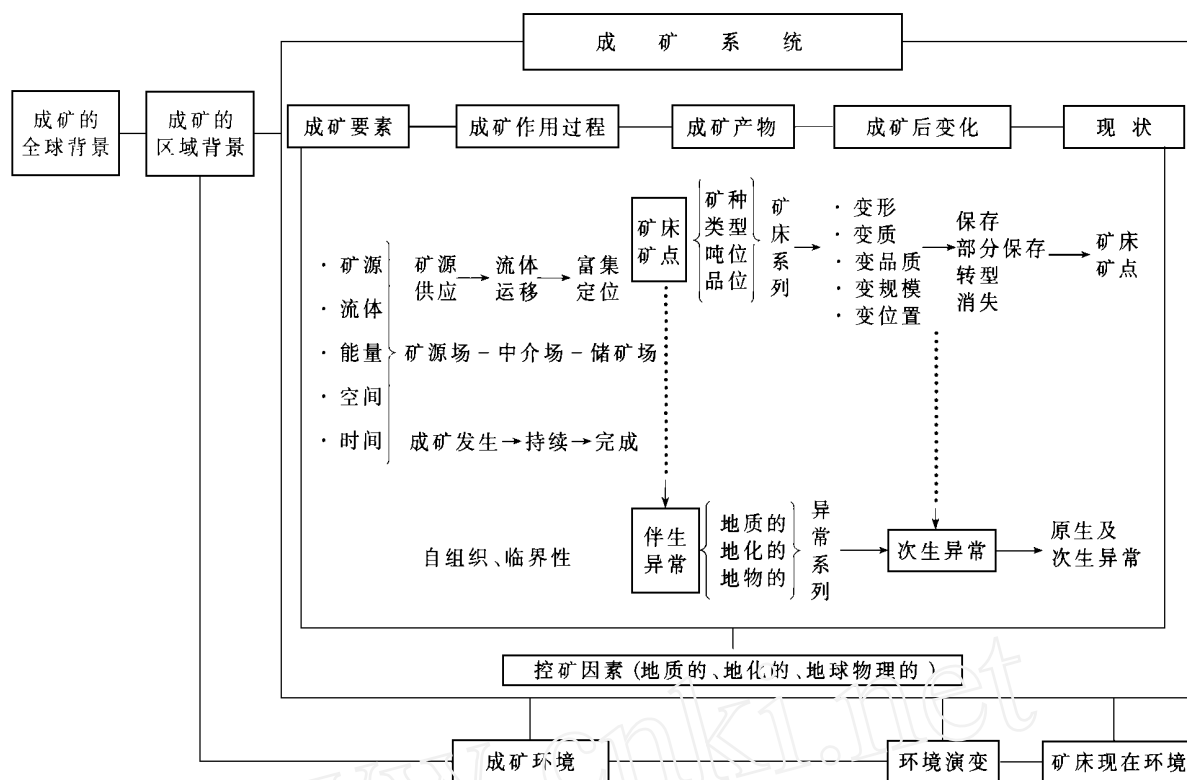


图1 成矿系统结构图

Fig. 1 Basic structure of ore-forming system

地球化学的、地球物理的), 这些异常既是找矿的标志, 又是全面研究和认识成矿系统、探索成矿规律的重要信息。关于成矿系统的基本结构见图1。

3 成矿系统与综合地质异常

在成矿系统的两类产物中, 一类是矿床系列, 一类是地质异常系列。在地质异常系列中包括地质的、地球化学的和地球物理的各类异常, 它们有: 矿物的、岩石的(蚀变岩)、元素的、同位素的、流体的(水/岩反应)、构造的、生物的以及重力、磁、电、放射性等种种异常。这些异常产在成矿系统的各个阶段和各个部位, 具有一定的时空结构。主要有: (1) 矿源场异常: 在矿质来源地, 含矿岩石因流体作用萃取、析出矿质而产生淋失带、破碎蚀变带等(如玢岩铁矿底盘辉长闪长玢岩中的钠化带)岩石和元素异常。(2) 含矿流体通道异常: 在含矿流体运移过程中, 流体的水/岩反应可在流经岩石中产生反应蚀变带、热液充填脉、矿化裂隙、矿化细脉浸染带和蚀变矿化角砾岩带等异常。它们虽未达到工业矿石品位, 但已有较多的矿化痕迹, 标志着距矿体的距离不远。(3) 矿石圈闭异常: 在矿石堆积场地, 由于成矿作用强烈而集中, 产生更为明显的和多样的异常。如元素(成矿的、伴生

的)异常、矿物异常(如黄铁矿的标型特征)、围岩蚀变(如钾化、硅化、绢英岩化等, 因矿床类型不同而不同)、矿物流体包裹体异常(如盐度、温度、压力、特征化学组分的变化)以及矿床构造异常(被蚀变矿化了的构造, 如金矿床中构造蚀变岩)等(图2)。

在已往的矿床地质异常研究中, 没有详细具体地按矿化阶段和不同空间来划分异常类型, 而是把这些不同阶段、不同作用生成的异常作为一个“混合体”来笼统处理, 这就难以缩小找矿靶区, 影响预测效果。而用成矿系统的观点分析各种异常的来龙去脉, 精细地区分不同异常类型及其成矿意义, 从而有可能提高异常评价的成效。

上述这些地质异常的实质可理解为, 在成矿流体的作用下, 成矿物质及伴生化学组分的分解、化合与在岩石中的带入、带出所发生的异常; 而控制和影响有关物质的带入、带出的 T 、 p 、 f_{O_2} 、 Eh 、 pH 等参量也作有规律的变化, 显示出相应的异常。这些物质带入带出的结果又表现在岩石物理性质的变异上, 这就产生了地球物理场的异常, 如磁铁矿大量堆积导致磁场增强, 导电性强的矿物(如金属硫化物)增多则表现为电场的加强等。各类地质-地球化学异常可表现为固态、液态(如矿区的地下

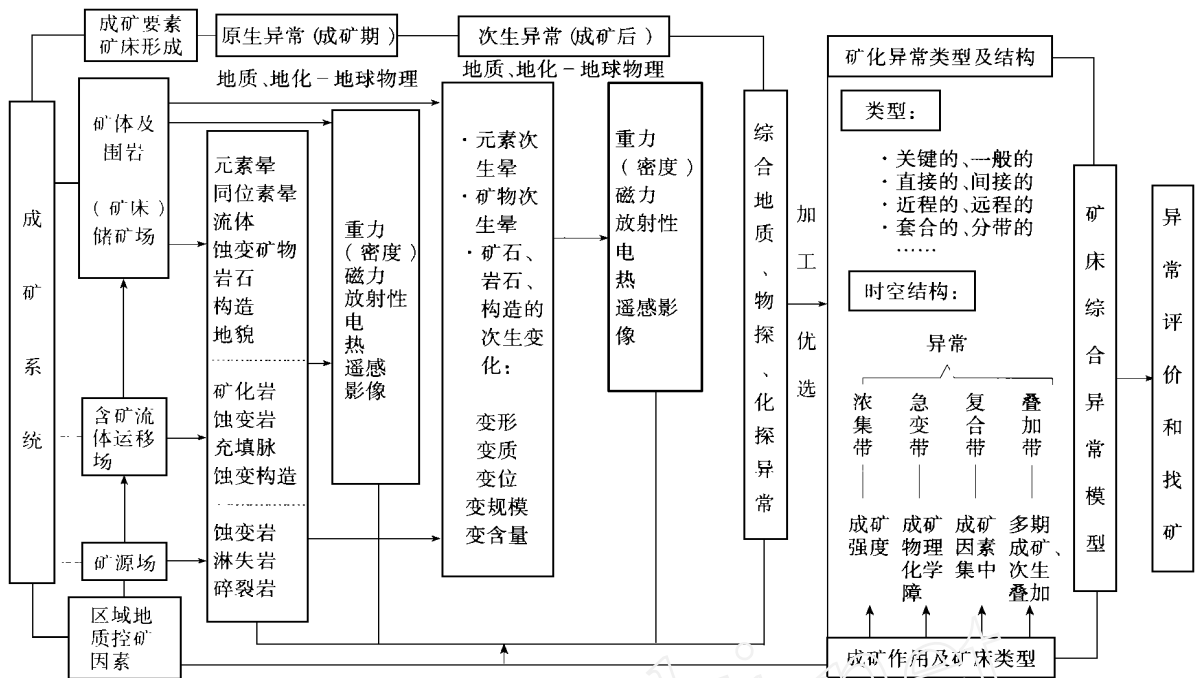


图2 成矿系统及矿床综合异常模型

Fig. 2 Ore-forming system and model of comprehensive geo-anomaly of mineral deposits

水异常)和气态(如汞气异常,可出现在很多金属矿床中)。规模巨大的矿床,其各类异常的强度较大,异常的保存时期也较长。

矿化异常一般都占有比矿床、矿体更大的三维空间,在地表或近地表常呈面状、带状作有规则或无规则的分布(取决于控制异常的地质因素是否规则有序)。不同种类异常在一个矿床、矿田中常显示出空间分带性,如蚀变分带、矿物标型分带、温度和压力分带、成矿元素分带等。

矿床形成后因地质环境和地质作用的变化,将会发生种种变化,包括变形、变质、变品位、变规模、变位置等,最终关系到矿床是继续保存下来,还是被强烈破坏而消失^[7]。相应地,与矿床、矿体伴生的各类异常也有原生、次生之分,成矿期形成的各种异常为原生异常;成矿后随着矿床(体)的变化而产生的新异常和有关原生异常也随之发生变化,这两类异常统称为次生异常。例如,原生矽卡岩型铁铜矿床经受地表风化作用后,磁铁矿氧化为褐铁矿和赤铁矿,组成的铁帽伴有表生次生矿物作为新的矿物异常,因而原有的磁异常则被削弱。而金属硫化物在地表则变为氧化物和硫酸盐,其电性异常也随之消减。这是原生矿床在地表风化作用改造下形成的次生异常。

在地下一定深度,当原生的层状金属矿床遭受后来的侵入岩浆及岩浆热液的叠加改造,但并不过

度强烈时,则形成复合的矿化蚀变带,原生的矿物和蚀变岩被后生的矿物和蚀变岩所叠加,形成原生异常和次生异常的复合叠加带。例如,长江中下游地区的层控-矽卡岩型铜(金)矿床是海西期热水沉积成矿和燕山期岩浆热液成矿相叠加的产物,就具有这种复杂的异常现象^[8]。

综上所述,成矿过程中产生的种种地质异常是综合性、系列性的。按类型有地质异常、地球化学异常和地球物理异常之分;按空间场带有矿源地异常、矿液运移通道异常和矿石圈闭(矿产地)异常之分;按异常发生时间有原生异常和次生异常之分……。对这些复杂多样且彼此间又有内在联系的异常系列,作者称之为“综合地质异常”或“地质异常系列”。

4 矿床综合异常模型及异常评价

矿化异常种类多、范围广,常围绕矿床(体)形成三维网络。因此,它们是重要的找矿标志,尤其是找寻隐伏矿床的标志。矿化异常中包含的信息十分丰富,且错综复杂,在具体的异常评价工作中,如何从这样大量的信息中加工处理、提炼出最有找矿意义的主要异常呢?作者建议采用下列工作步骤。

(1) 研究成矿前的各种有利成矿地质条件和异常。详细研究 1/20 万和 1/5 万区调和化探资料中

的地质控矿信息,包括地层、岩相、岩浆岩、构造、地热场以及区域地球化学背景等异常信息。在一般的地质异常背景上,筛选出最有利成矿的地质异常场。一些成矿前异常经过成矿作用后,还可能有一部分被保存在矿床附近,可以作为预测成矿的标志。

(2) 研究成矿过程中产生的各种地质异常及其相互关联,尤其是主要成矿阶段产生的各种地质异常。这包括:成矿期构造的几何学、运动学、动力学及流变学特征,以认识成矿元素和成矿流体的运移轨迹、成矿发生的部位、流体的规模和成矿深度等。用构造地球化学方法研究成矿构造异常。

注意区分区域应力构造、热致构造与流体驱动构造,后者经常伴随成矿作用,如隐爆矿化角砾岩等。含矿岩石中的异常:接触热变质带、围岩蚀变、交代岩、岩石中成矿痕迹、岩石物性异常等。找矿矿物学:近矿矿物晕、矿物标型、矿物共生组合、矿物物理学标志等。成矿的地球化学异常:各类地球化学晕、稳定同位素异常、放射性同位素异常、微量元素和稀土元素异常等。

成矿流体活动导致的异常,包括矿物流体包裹体的物化性质及其时空分布,热液活动轨迹的追踪,流体运移网络的建立,以及不同介质中热流体动力学的研究等。

(3) 研究矿床形成后经受变化、改造而发生的原有异常的变化及新产生的次生异常,包括原有岩石矿物化学异常受风化作用后产生的新变化,原有含矿构造又遭受后来的变形改造等。着重研究这些后来的次生异常与矿床位置的相关概率及其预测意义。对于中生代及以前的古老矿床,这种研究更有实际意义。

(4) 综合研究上述各类地质异常的相互关联及时空结构。上述各类异常信息不是孤立的,而是有机地联系在一起。成矿作用是多种地质作用耦合的结果,各种地质作用常常具有不同的地质和地球化学信息标志。通过研究异常信息的关联而确定的异常信息的叠合部位或信息浓集区,将是成矿可能性最大的空间。

(5) 在上述各项研究基础上,全面掌握该类型矿床主要的成矿地质异常特征,建立矿床综合地质异常模型及其判别准则,使有关研究成果系统化和直观化,以之作为评价异常和矿产预测的基础,并尽可能通过实际工作的反复检验,对所建立的综合地质异常模型加以改进和完善。

运用以上方法,通过对胶东金矿、赣西北铜(金)矿等热液型金、铜矿床综合异常的研究^[9~11],初步提出对热液型金属矿床有重要找矿意义的4种异常带是:

(1) 异常浓集带:是成矿元素和伴生元素的高丰度带,说明成矿强度大,可能指示大型矿体和/或富矿体的产出部位。

(2) 异常急变带:或称拐点(带),是由于岩石、构造等控矿因素的突变或地球化学障引起的、常能反映矿体与围岩的边界或是贫矿体与富矿体的边界,或是较宽的矿化蚀变构造带的边界。

(3) 异常复合带:多种异常在同一空间的复合,显示多种成矿因素在一个局部空间的耦合,或是多种物化性质不同的矿物组合在一个局部空间的汇集,大多能反映大矿、富矿的位置。

(4) 异常叠加带:常为多阶段矿化在同一空间叠加的表现,或是原生异常与次生异常相互叠加的反映,或是由含矿构造在同一空间反复活动造成的。

这些最有找矿意义的异常带在不同矿种、不同矿床类型中的表现形式是不同的,在具体的异常评价中要从具体工作区的地质矿化特征出发,以精细的对测区的地质填图、地质观测为基础,对该区的成矿条件、控矿因素,可能存在或已存在的矿床类型及矿化特征有明确的认识,则有助于对含矿异常作出合理的解释和评价。因此,作者强调,对工作区的控矿地质因素的详细研究和对未知(或已知)矿床类型的正确判断是进行异常评价和成矿预测的关键。

参 考 文 献

- 1 赵鹏大,池顺都.初论地质异常.地球科学——中国地质大学学报,1991,16(3):241~248
- 2 赵鹏大,王京贵,饶明辉,等.中国地质异常.地球科学——中国地质大学学报,1995,20(2):117~127
- 3 李人澍.成矿系统分析的理论与实践.北京:地质出版社,1998.1~23
- 4 . “ ”.1992.47~75
- 5 翟裕生.古大陆边缘构造演化和成矿系统.北京大学地质系主编.北京大学国际地质科学学术讨论会论文集.北京:地震出版社,1998.769~778
- 6 翟裕生,姚书振,崔彬,等.成矿系列研究.武汉:中国地质大学出版社,1996.192
- 7 翟裕生.论矿床形成后的改变与保存.地学研究,第29~30号.北京:地质出版社,1993.267~273

- 8 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社, 1992. 177~187
- 9 邓军, 徐守礼, 方云, 等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学. 北京: 地质出版社, 1996
- 10 丁式江. 胶东地区地质体含金性的地质地球化学评价. 地质找矿论丛, 1997, 12 (3): 1~10
- 11 崔彬, 李忠文. 江西九瑞地区铜金成矿系列. 北京: 地质出版社, 1992

ORE-FORMING SYSTEM AND COMPREHENSIVE GEO-ANOMALY

Zhai Yusheng Deng Jun Cui Bin Ding Shijiang

Peng Runmin Wang Jianping Yang Liqiang

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Abstract

Comprehensive geo-anomaly of mineral deposits is a main kind of ore-forming indicator. After the description of the ore-forming system idea, the authors discuss the relationship between the geo-anomaly and ore-forming system and some concepts about the ore source field anomaly, the ore-bearing fluid passageway anomaly and the ore trap anomaly are put forward. The authors present also the methods for studying the comprehensive geo-anomaly. Based on systematic research on the gold deposits in Jiaodong district and copper deposits in northwest Jiangxi Province, four anomaly belts with more significant in finding of hydrothermal ore deposits are summarized, namely: (1) concentrated anomaly belt, (2) abrupt anomaly belt, (3) composited anomaly belt and (4) superimposed anomaly belt. At final, the authors emphasize that the carefully studies of ore-controlling factors and mineralizing styles of prospecting area are the key problem in appraising geo-anomaly and mineral deposit prognosis.

Key words: ore-forming system, comprehensive geo-anomaly, geochemical anomaly, geophysics anomaly, mineral deposit prognosis