

文章编号 10258-7106 (2009) 03-0357-09

试论成矿系列与矿产资源评价^{*}

肖克炎, 丁建华, 娄德波

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 成矿系列研究的内容是矿床的区域成矿规律, 研究目的之一是根据矿床的自然分类原则指导地质找矿, 确定找矿目标和可能的范围。矿产资源评价的工作内容是依据这一理论, 结合物探、化探、遥感、数学等工具, 确定出与已知成矿系列相类似区域的成矿可能性, 从而达到预测找矿的目的。成矿系列理论为矿产资源评价提供指导, 矿产资源评价则为成矿系列理论的实际应用提供平台。同时, 矿产资源评价的结果也是对成矿系列理论的验证, 可据此完成对成矿规律认识的修正, 两者相辅相成。在中国新一轮 25 种重要矿产资源预测评价工作中, 明确提出了要以成矿系列理论为指导, 开展未发现的矿产资源的潜力评价。通过该项目的实施, 将实现两者的有机结合, 使成矿预测工作更有成效, 同时, 将使成矿系列的研究更加深入。

关键词 地质学 成矿系列理论 矿产资源评价

中图分类号: P628

文献标志码: A

A tentative discussion on theory of minerogenetic series and mineral resource assessment

XIAO KeYan, DING JianHua and LOU DeBo

(Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Researches on the minerogenetic series mainly include the study of regional mineralization regularity. One of the aims of the researches is to confirm the target ore types and target areas based on this theory. The aim of mineral resources assessment is to find ore occurrence using geophysical, geochemical, remote sensing and geomathematic data on the basis of the minerogenetic series theory. Hence, the minerogenetic series theory serves as a director to mineral resources assessment, and the mineral resources assessment, in turn, provides a demonstration stage for that theory. The results of resources assessment provide a verification and modification basis for the theory. They supplement and promote each other. In the project of national assessment of 25 minerals, the minerogenetic series theory has been put forward clearly as the guidance. In such a way, the organic integration of the two means can be realized: the mineral deposit assessment work will be effectively advanced and the research on the minerogenetic series theory can be increasingly deepened.

Key words: geology, minerogenetic series, mineral resource assessment

成矿系列概念由程裕淇、陈毓川、赵一鸣于 1979 年提出(程裕淇等, 1979)。经过 30 多年的研究, 逐步得到完善。成矿系列既是从地球演化的时空四维

域中研究成矿作用及其所形成的矿床自然体, 也是一种矿床自然分类(陈毓川等, 2006)。矿床成矿系列是成矿系列概念中的核心组成部分, 其含义是:

^{*} 本文得到国家科技支撑项目(2006BAB01A01)资助

第一作者简介 肖克炎, 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源评价工作。Email: kyanxiao@sohu.com

收稿日期 2007-11-15; 改回日期 2009-03-16。许德焕编辑。

“在一定的地质历史时期或构造运动阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,与一定的地质成矿作用有关,形成一组具有成因联系的矿床的自然组合”。矿床成矿系列是自然界唯一存在或存在过的地质成矿环境和矿床组合的实体,它本身包含‘四个一定’或四个要素,即时间、空间、作用与矿床产物(程裕淇等,1979),缺一不可,也就是成矿的时空四维域的地质环境、地质成矿作用及其过程以及最终形成的为人类可利用的矿床组合自然体(陈毓川等,1998)。自 20 世纪 70 年代程裕淇等提出矿床的成矿系列概念以来,中国的广大地矿工作者在应用成矿系列观点指导找矿勘探、总结区域成矿规律等方面做了大量工作,取得显著成绩。研究机构和院校的专家们对成矿系列也做了广泛深入的研究。在各类矿床成矿系列中,研究较为深入的是与岩浆作用有关的矿床成矿系列,至此,成矿系列覆盖的矿种更加全面。因为,这方面矿产勘查和研究的资料很丰富,成矿系列表现也较明显和全面,有较多研究成果(陈毓川,1983;裴荣富等,1989;夏宏远等,1991;翟裕生,1992;崔彬,1995;毛景文等,1999)。陶维屏(1989;1994)系统论述了中国非金属矿产的成矿系列,至此,成矿系列覆盖的矿种更加全面。在成矿系列内涵方面,程裕淇等(1979)、陈毓川等(1983;1998)提出了成矿系列的序次及其含意,以及矿床成矿系列的继承性、后期改造等问题。翟裕生等(1980;1987)提出了成矿系列结构概念,包括分带性、阶段性、过渡性、重叠性、互补性等结构型式,以表示一个矿床成矿系列内部各矿床类型间的时空、物质和成因联系。陈毓川等(1995)又提出了矿床成矿系列类型的概念,以及在某些区域内矿床成矿系列的演化规律。王登红(2002)将矿床成矿系列在区域内的演化归结为成矿谱系。

使用成矿系列理论开展区域矿产资源预测评价最早的是王世称教授,他在 20 世纪 90 年代进行了探索性工作,有代表性的成果是使用双重回归分析对浙江的银铅锌系列矿产进行定量预测。之后,他又提出矿化系列的概念,它包括成矿系列、矿化点、物化探异常等,并划分为沉积矿化系列、岩浆矿化系列、变质矿化系列和火山作用矿化系列,其目的是将成矿预测与成矿系列理论结合起来(王世称等,2000)。陈毓川、肖克炎、王登红等在‘十五’科技攻关项目中提出了基于成矿系列进行综合信息矿产资

源预测评价的‘三三式’评价方法^①,并在中国东天山地区铜、金矿预测中成功运用。叶天竺等(2007)在成矿系列基础上提出了矿床模型地质综合信息矿产资源预测方法。

由于区域成矿系列范围跨度大,有的成矿系列可以跨三级区带,达到 1:20 万工作区范围,因此,成矿系列如何与具体的 1:20 万预测结合起来是一个需要探讨的问题。

1 成矿系列在矿产预测评价中的作用

1.1 成矿系列是将区域成矿作用与构造环境结合起来的最佳途径

以地球动力学为基础的区域成矿学是当今区域成矿规律研究的方向。由于大陆会聚、裂解,深部及浅部的地球动力过程引发了区域大规模的壳幔反应、岩浆侵位、火山活动、变质作用、构造作用等为成矿作用提供了热驱动、流体、矿源、运移通道及成矿就位空间。不同的大地构造单元在不同的地质演化历史阶段,具有不同的成矿专属性。

板块构造理论已被应用于区域矿产分布规律的研究中,可为矿床地质学家提供在勘查上有意义的一组科学信息:按板块构造的 4 种边界(裂谷、洋底俯冲、碰撞带和转换断层)可以划分主成矿环境,再由各主成矿环境中分出若干亚环境。

由于矿床的形成受控于构造环境,因而,矿床产出的时空展布在威尔逊旋回中也得到反映,热点和裂谷、活动陆缘俯冲带、汇聚边缘、碰撞造山等各类板块构造环境中的成矿作用都具有各自特有的类型和特征(图 1)。因此,通过详细的构造建造编图可反映出不同的构造环境,对成矿区带的划分和预测具有重要指示意义。

成矿系列是地质历史演化期间一定地质环境下的产物,运用成矿系列理论可以有效且深刻地认识和总结区域成矿规律。反言之,只有通过对成矿规律的深入研究,才有可能正确并准确地厘定矿床成矿系列。在成矿系列厘定的过程中,对构造背景成矿环境的分析是成矿系列建立的重要环节,可以说,成矿系列理论是基于构造背景分析和区域成矿规律分析的综合。

矿产预测是要通过研究成矿规律来确定可能的

① 陈毓川,肖克炎,王登红,等. 2005. 中国西部优势矿产资源潜力评价技术及示范研究. 内部资料.

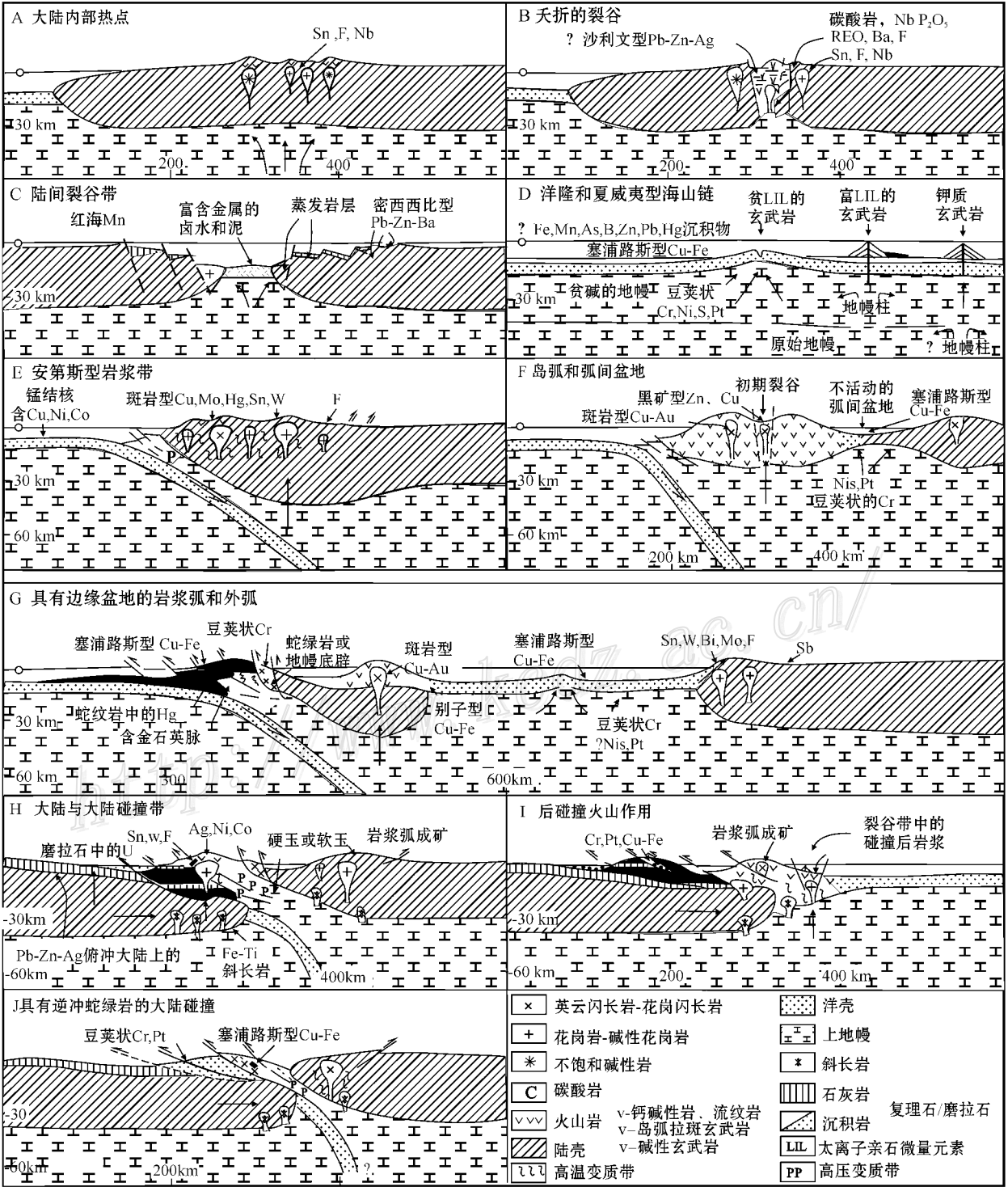


图 1 与板块边界有关的构造环境和共生矿产示意剖面图(据 Mitchell et al. ,1981)

Fig. 1 Sketch map of tectonic environment and associated minerals related with boundary of plates

(after Mitchell et al. , 1981)

成矿环境,目的在于确定空间和地域。编制矿床成矿系列图的过程,便是对各类矿床成矿系列的矿床进行空间定位,该类图件的编制,可有效地指导矿产预测评价,为确定预测矿种及预测区的划分提供依据,从而为矿产预测确定预测目标及范围。

以中国华南的中生代矿床成矿系列为例,武夷-云开隆起到印支期以后,与两侧的增生块体逐渐融合成一体,并发展成为南岭中生代造山带的核心。南岭造山带以北的中生代岩浆成因矿床已被单独厘定出一个系列,南岭以南的云开-海南古隆起区的中生代岩浆成因矿床可归属于另一个矿床成矿系列,即“云开-海南古隆起区与燕山期岩浆-构造作用有关的 Nb、Ta、W、Fe、Cu、Au、Ag、Pb、Zn、Mo、Sb、水晶、萤石矿床成矿系列”。这样,对应于华南地区中生代极其复杂的成矿作用,可在该地区大致厘定出 4 个矿床成矿系列,即:① EW 向展布的以 W、Sn、Pb、Zn、Sb 为主的“南岭系列”;② 产于武夷-云开古陆区北部的以斑岩型铜矿为特色的“岭北系列”;③ 产于武夷-云开古陆区南部的以多金属为主的“岭南系列”;④ 东南沿海以火山岩成矿为特色的“沿海系列”。这一组成矿系列的厘定,无疑为在该地区进行矿产预测奠定了理论基础,指明了预测矿种及类型,大致确定了预测工作的范围。

1.2 成矿系列是建立矿床评价模型的基础

矿床模型是矿产预测评价的基础,无论是地质成矿规律分析,还是矿产资源统计定量预测。美国

地质调查局在美国本土矿产资源潜力评价中使用了近 90 种标准矿床模型。在其“三步式”评价工作程序中,首先要根据模型总结的找矿标志准则,圈定出成矿可行区带。但他们在圈定成矿可能地段时遇到的一个技术问题是:由于评价比例尺是国家层次的(1:100 万、1:50 万),许多金属矿种中金、银、铜、铅、锌等往往同时出现在同一地区,这样,在圈定不同类型、不同矿种的可能地段时就出现了重复现象。应用成矿系列理论可以很好地解决这个问题,因为,成矿系列研究的对象是矿床组合的自然体,按照成矿系列理论,这种在同一地区同时出现的金、银、铜、铅、锌等矿床,可能是同一区域构造演化甚至同一关键成矿作用的结果,据此建立起的“成矿系列模型”可能较单独矿种的矿床模型在区域的中、小比例尺潜力评价中更具优势,因为它更好地抓住了区域评价的关键地质因素。

在成矿系列理论分级中,矿床式是成矿系列中的代表性矿床,一般指矿床成矿系列中,相似成矿条件下形成的具有相似地质特征、相似元素组合和矿床成因的一些矿床组(矿床类型),矿床式既是一般典型矿床的代表,又是某个矿床成矿系列中最重要、最能代表该系列(或亚系列)基本特征的代表性矿床,同时又具有比较明确的时空意义和成矿条件的含义,因而,在成矿体系中具有“细胞”的地位和功能。如塔尔沟和小柳沟钨矿床(图 2)是祁连成矿省内 2 个大型钨矿床,形成于加里东期柴达木-中祁连

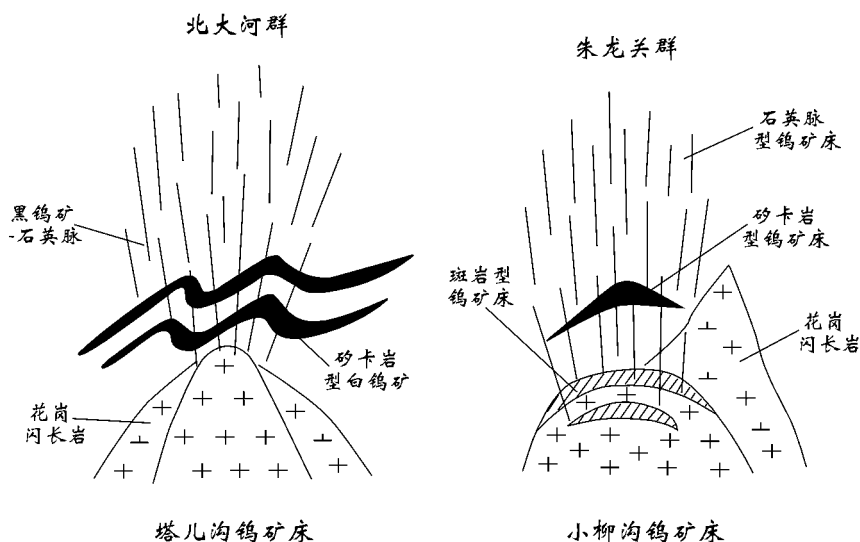


图 2 北祁连西段加里东期岩浆-热液型钨铜矿床成矿模式(据毛景文等,2003)

Fig. 2 Metallogenetic mode of the Caledonian magmatic-hydrothermal tungsten and copper ore deposit in western segment of northern Qilian metallogenetic province(after Mao et al., 2003)

板块北侧的活动大陆边缘(汤中立,2002),属加里东期与钙碱性岩浆侵入活动有关的钨铜钼金银成矿系列。一个矿床式有多个矿床类型,有矽卡岩型、石英脉型等,但均受统一的岩浆侵入作用的控制。

以正在开展的全国矿产资源潜力评价项目为例,该项目涉及25种矿产、110多种矿床类型,但真正有预测价值的只有86种矿床类型。依据相同的成矿作用和相同的产物,已初步建立起86种矿床的全国性的普适性模型,在使用过程中,还需要依据相同的时间和空间,对这些模型做进一步的补充和完善,形成区域性模型,用以指导相同构造环境下的地质找矿工作。

如西南三江地区的玉龙铜矿和普朗铜矿,同属斑岩铜矿类型(全国性模型),但其成矿构造背景却不一样,需要各预测区根据具体地质背景再总结区域性的矿床模型(玉龙式斑岩铜矿模型和普朗式斑岩铜矿模型)。在进行1:20万尺度的矿产预测时,即可基于这两种矿床式进行预测评价。

2 成矿系列与找矿评价的有效结合

成矿系列理论对于总结中国矿床成矿规律、建立地质条件(数据或资料)与矿床资源量之间的定量预测模型是有效的地质理论依据。如何将这种理论上高度概括的研究成果与具体的从实际勘查资料出发的资源潜力评价有效地结合起来,是亟待研究的问题。

陈毓川(1999)曾指出,成矿系列概念中的核心思想之一是,认为矿床是以矿床组合自然体存在的,而这种矿床组合是在一定的地质构造环境中,由不同矿种、不同成因的矿床所组成的,在区域分布上有一定的规律,因此,矿床成矿系列就为在同类构造环境、同类成矿作用的地区进行同类型矿产的预测工作提供了理论依据,具有重要的指导意义。

由于成矿系列厘定时强调“一定的地质构造单元”,一般相当于成矿时的三级构造单元(陈毓川,2007),这些构造单元不一定与现在的构造单元相对应(只有当成矿到今,构造环境和构造单元基本不变时才是一致对应的),但是研究成矿系列,必须从成

矿区(带)入手(陈毓川,1999)。成矿预测也要从成矿区(带)入手。因此,在本次全国矿产资源评价中,将以Ⅲ级区带为基础,确定矿产预测工作区的范围,根据成矿系列确定预测矿种、类型,结合物探、化探、遥感等多元信息,完成矿产预测评价工作。成矿系列研究经过数十年的积累,在全国范围内已厘定出了214个矿床成矿系列,并圈定了矿床成矿系列的大致范围。这一成果将对全国矿产资源评价起到很好的指导作用。

例如:图3是桂北地区的成矿系列图,其中的第Ⅳ成矿系列为古陆边缘拗陷槽与海西晚期—印支期中酸性岩有关的铅、锌、硫矿床成矿系列,包括老厂、泗顶、北山等矿田,面积近2万km²。在对该区进行铅锌矿预测时,此成矿系列所在的Ⅲ级区(带)的范围便是预测工作的范围。

陈毓川等认为^①,成矿系列的研究内容主要是通过研究矿床形成的时间、空间、成矿作用及控矿因素,恢复矿床在一定时空域中存在的自然面目,即研究的是一个不可分割的成矿的自然整体。研究的目的是,根据矿床的自然分类原则进行地质找矿,为新区域确定找矿目标,提供工作的理论依据。

矿产资源评价的工作内容则是依据这一理论,结合物探、化探、遥感、数学等工具,类比并确定出与已知成矿系列相类似的区域,从而达到预测找矿的目的。这与成矿系列的研究内容与目的是一致的,并且相互印证和补充。成矿系列理论是从四维空间来揭示成矿规律,掌握了成矿系列理论,便将当前的矿产预测由平面的多元信息标志预测,转向地质理论指导下的立体空间的定位预测。

以桂北雪峰期Sn、Cu多金属矿床系列成矿模式为例,桂北地区的九万大山—元宝山在雪峰期为构造挤压环境,黑云母花岗岩重熔上侵就位,控制着一系列锡多金属矿床的生成。成矿系列的研究重点就是把这一系列花岗岩出露地区的范围圈定出来,解决与成矿有关的共性问题。区域1:20万预测则是在此研究的基础上,以地质、物探、化探、遥感等多元信息为工具,评估每个岩浆岩个体的含矿性,从而指导找矿。两者的关系在此表现为既相互补充,又各自解决自己的问题。

① 滕 艳,徐丛荣. 2008. 中国工程院院士陈毓川提出依据矿产自然分类进行地质找矿.《地质勘查导报》2008年12月11日第一版.

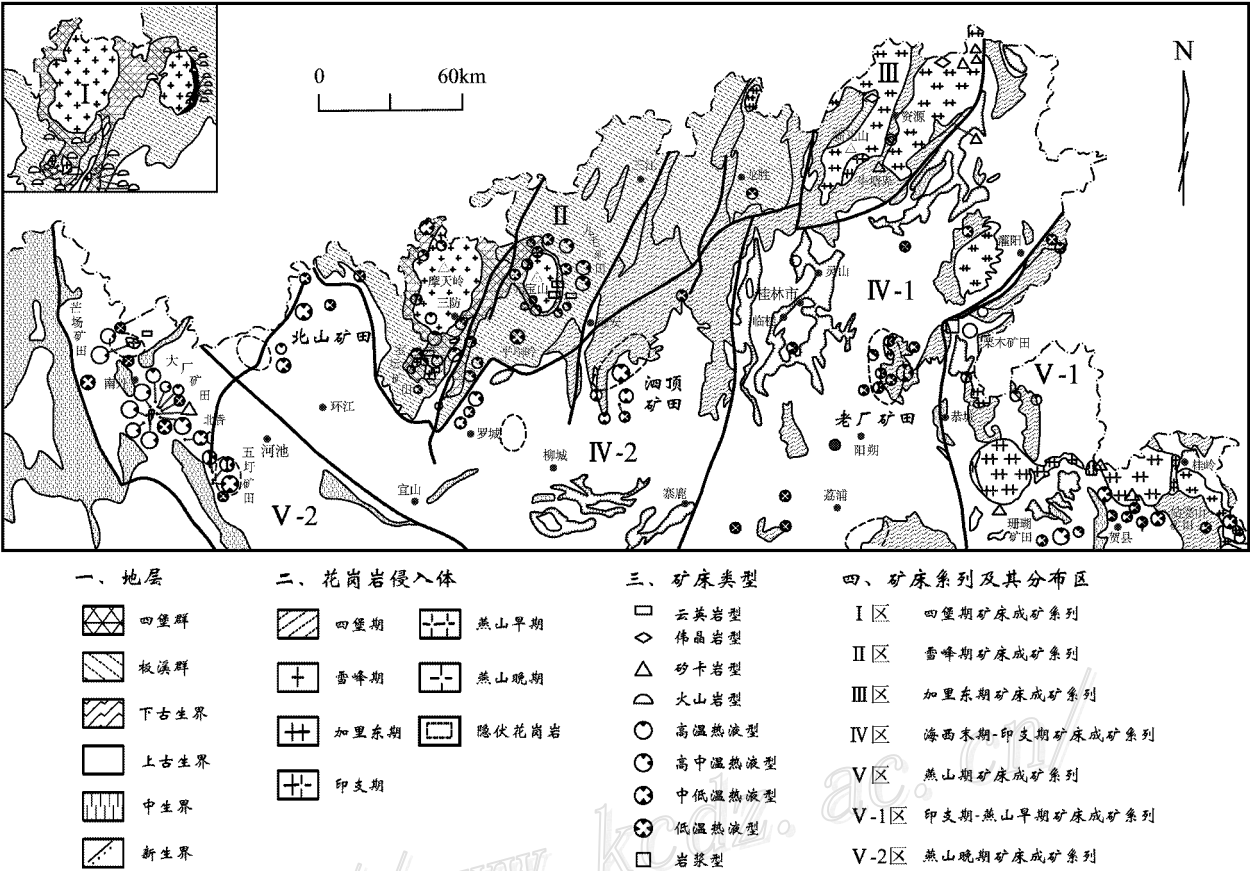


图 3 桂北地区成矿系列图(据陈毓川等,1995)

Fig. 3 Map of metallogenic series in northern Guangxi area (after Chen et al., 1995)



图 4 区域地质综合信息矿产预测工作流程

Fig. 4 Flow chart of mineral resources assessment using regional geological and synthetic information

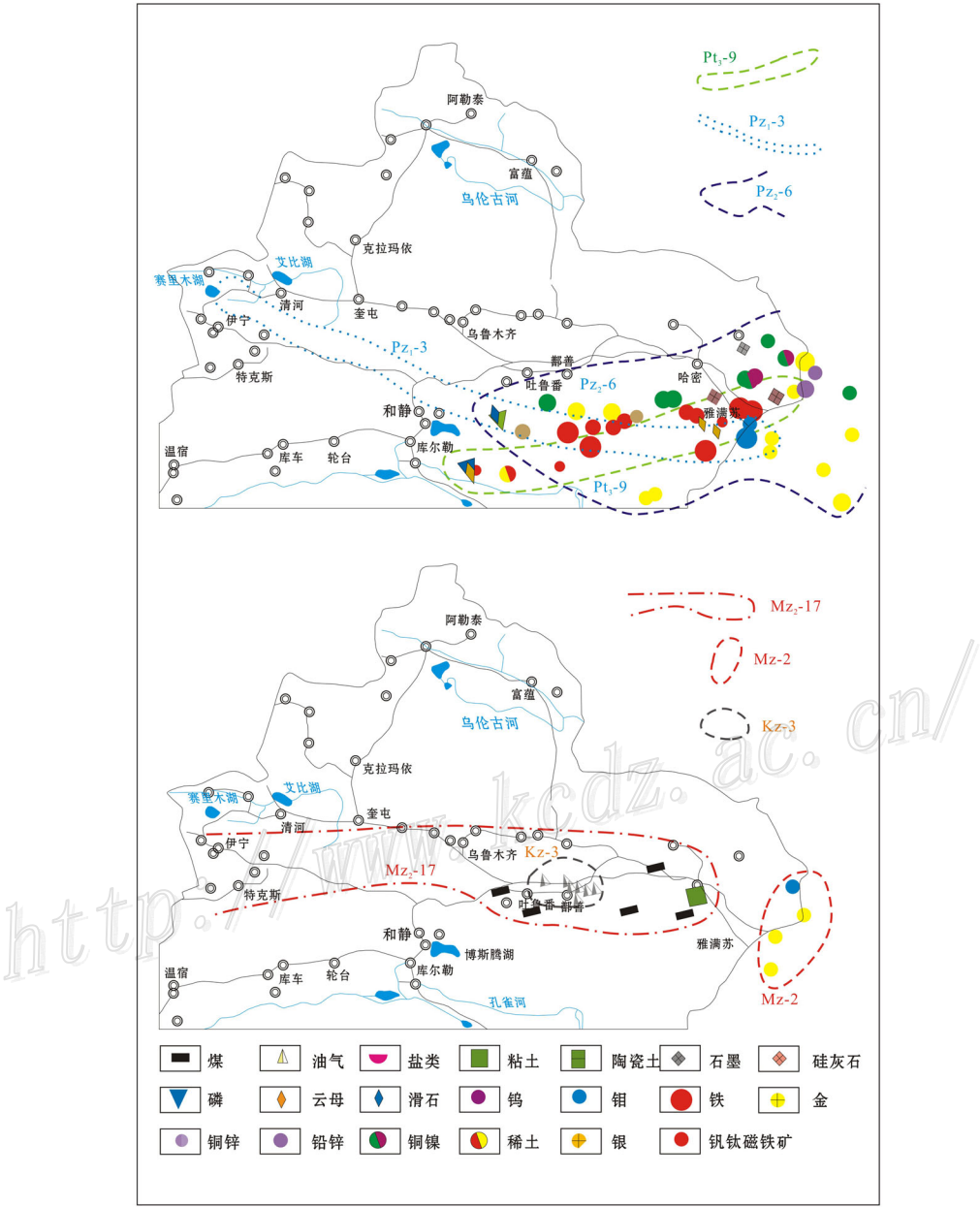


图 5 东天山地区矿床成矿系列(亚系列)分布示意图(据王登红等,2006)

Fig. 5 Distribution of metallogenic series(sub-metallogenic series) in Eastern Tianshan region (after Wang et al., 2006)

3 基于成矿系列的矿床模型综合地质信息预测

基于上述理论,一些从事矿产资源评价的学者前期已开展了以成矿系列为指导的矿产资源潜力评价方法流程的研究工作。肖克炎等(2005)提出了“三三式”成矿系列综合信息矿产资源评价方法;叶天竺等(2007)提出了矿床模型综合地质信息矿产资源预测评

价方法,该方法基于成矿系列理论,以矿床模型为预测出发点,开展综合信息构造建造编图,以 GIS 为平台,开展未发现矿产资源潜力位置、数量及经济价值预测评价。总体预测评价工作的流程如图 4 所示。

在此成矿预测工作流程中,成矿系列理论在确定工作区及预测类型、确定预测矿种成矿地质背景、建立典型矿床模型等关键结点,起着基础性的指导作用。

3.1 确定预测工作区及预测矿种的预测类型

由于一个矿床成矿系列反映的是一次构造演化旋回的时段内,某一共同的关键成矿作用过程及其产物,因此,可以在全国三级区带划分的基础上,运用成矿系列的最新研究成果,确定预测矿种在各构造旋回中所属矿床成矿系列以及矿床成矿亚系列的范围,作为该预测矿种的研究工作区。

以东天山地区为例,与海西中期中酸性侵入岩-次火山岩有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、W、Sn、水晶、Au、Ag、稀有金属、硅灰石矿床成矿亚系列(P_{Z_2-6}),其分布范围基本上是该构造亚旋回的成矿影响区域(图5),在该区域预测铜铅锌矿时,可将此作为预测工作区范围。

确定了预测工作区范围后,还需要根据矿床成矿系列的矿床式的成矿地质作用特征来划分矿床预测类型。如,在桂北地区相应的矿床成矿系列中,发育有脉状矿体的老厂矿床式、脉状层状矿体的泗顶矿床式及层状矿体的北山矿床式,以区域性南北向断裂为界,可以分为老厂式预测类型与泗顶式预测类型。

3.2 编制构造建造底图

由于矿床的形成受控于构造环境,因而,矿床产出的时空展布在威尔逊旋回中也得到反映,热点和裂谷、活动陆缘俯冲带、汇聚边缘、碰撞造山等各类板块构造环境中的成矿作用都具有各自特有的类型和特征。因此,可根据成矿系列理论的研究成果,指导详细的构造建造编图工作,为预测工作提供基础底图。

以东天山地区的构造建造图^①为例。该图以东天山成矿系列的划分为指导,详细表达了陆块、岛弧带、弧后盆地等构造环境的地层、岩浆岩、火山建造等的分布,从而形成东天山区域综合信息预测的基础图件。

3.3 区域综合信息矿产预测

矿床地质模型建立后,还需要融入从物探、化探、遥感等数据中提取的有用信息,建立起区域综合信息矿产预测模型,完成多元找矿信息不断发现、提取、转换和关联的过程。这些有用信息的提取是在成矿系列研究成果的指导下选择和确定的,将此类信息进行综合,便形成了用以指导预测的区域综合信息找矿预测评价模型。

区域综合信息找矿预测评价模型的内容包括了地质模型的内容,以及这些内容在物探、化探、遥感

等方面的表现形式,它们都成为建立数学模型时参数的选择依据。在此基础上,运用现代化的计算工具和 GIS 软件,加上科学的定位、定量方法的选择,可以圈定出预测区,估算出资源量,并给出资源量级别及置信水平。预测的成果将为政府部门及各类探矿公司部署工作提供参考和依据。

4 结束语

成矿系列的核心思想之一是矿床的自然分类,是以矿床组合自然体为基本单元,认为这种矿床组合是在一定的地质构造环境中,可以由不同矿种、不同成因的矿床所组成,并在区域分布上有一定规律。成矿系列理论解决的是矿产预测的成矿作用关键的地质共性问题,是区域矿产资源预测评价的重要理论依据。以区域勘查信息综合分析开展预测靶区优选和资源量估算的资源评价工作,则是解决具体地区的成矿可能性问题,为成矿系列理论的实际应用提供了平台;另一方面,成矿预测可以用来验证成矿系列理论,从而实现对规律认识的修正。这两者相辅相成。因此,通过全国矿产资源评价项目的实施,将两者有机地结合起来,将使成矿系列的研究更加深入,使成矿预测工作更有成效。

References

- Chen Y C. 1983. The metallogenic series of the rare-earth, rare and nonferrous metal deposits related to the Yanshanian granites in South China [J]. Mineral Deposits, (1): 15-23 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Mao J W and Xu Z G. 1995. Minerogenetic series and evolution in the Northern Guangxi area [M]. Nanning: Guangxi Science and Technique Press. 1-100 (in Chinese).
- Chen Y C, Pei R F, Song T R and Qiu X P. 1998. On minerogenetic series: First discussion [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-121 (in Chinese).
- Chen Y C. 1999. Contemporary theory and methods of mineral resources prospecting and assessment [M]. Beijing: Seismological Press. 1-549 (in Chinese).
- Chen Y C, Pei R F and Wang D H. 2006. On minerogenetic series: Third discussion [J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C. 2007. Chinese minerogenetic system and regional minerogenetic appraisal [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-1004 (in Chinese with English abstract).

① 中国地质科学院矿产资源研究所. 2006. “中国西部优势矿产资源潜力评价技术及示范研究”报告. 内部资料.

- Cheng Y Q, Chen Y C and Zhao Y M. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenic series of mineral deposits [J]. Journal of CAGS, 1(1): 32-58 (in Chinese with English abstract).
- Cui B. 1995. Model of copper and gold minerogenic series in Jiujiang-Ruichang area [J]. Mineral Deposits, 14(1): 44-50 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C and Ren F S. 1999. Temporal and spatial distribution and evolution of ore deposits in the west sector of northern Qilian Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 73(1): 73-82 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Yang J M, et al. 2003. The metallogenetic series and prospecting assessment of copper, gold, iron and tungsten polymetallic ore deposits in the west sector of the northern Qilian Mountains [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-436 (in Chinese).
- Mitchell A H G and Garson M S. 1981. Mineral deposits and tectonic settings [M]. London: Academic Press Inc. Ltd. 1-405.
- Pei R F and Mao J W. 1989. Review on recent development of tin deposit research [J]. Mineral Deposits, 8(2): 91-94 (in Chinese with English abstract).
- Tang Z L. 2002. Metallogenic system and tectonic dynamics in the southwest margin (Longshou-Qilian mountains) of north China paleocontinent [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 3-121 (in Chinese).
- Tao W P. 1989. The minerogenic series of nonmetallic mineral deposits of China [J]. Acta Geologica Sinica, (4): 324-337 (in Chinese with English abstract).
- Tao W P. 1994. Advances and problems in studies of nonmetallic mineral deposits of China [J]. Earth Science Frontiers, 1(3-4): 164-169 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H. 2002. Metallogenic series and regulation in Altai metallogenic province [M]. Beijing: Atomic Energy Press. 1-103 (in Chinese).
- Wang D H, Li C J, Chen Z H, Chen S P, Xiao K Y, Li H Q and Liang T. 2006. Metallogenic characteristics and direction in mineral research in east Tianshan [J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 910-915 (in Chinese with English abstract).
- Wang S C, Chen Y L and Xia L X. 2000. Theory and method of mineral prediction using integrated information [M]. Beijing: Sciences Press. 1-337 (in Chinese).
- Xia H Y, Liang S Y and Zhang Q M. 1991. Horizontal mineralized zoning and minerogenic mechanism of Shanhu tungsten-tin deposit [J]. Mineralogy and Petrology, 11(1): 59-72 (in Chinese with English abstract).
- Xiao K Y, Wang Y Y, Cheng Z H et al. 2006. New techniques and models of mineral resources assessment in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-275 (in Chinese).
- Ye T Z, Xiao K Y and Yan G S. 2007. Methodology of mineral resource potential assessment for deposit models using integrated geological information [J]. Earth Science Frontiers, 14(5): 11-19 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Lin X D, Chi S C, et al. 1980. Discussion on genetic types and minerogenic series of iron ore deposits of the middle and lower reaches of Yangzi river [J]. Geology and Prospecting, (3): 9-14 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S and Xiong Y L. 1987. On the structure of the minerogenic series [J]. Earth Science (Journal of Wuhan College of Geology), 12(4): 375-380 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S. 1992. Some problems on study of minerogenic series [J]. Geoscience, 6(3): 301-308 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川. 1983. 华南与燕山期花岗岩有关的稀土、稀有、有色金属成矿系列 [J]. 矿床地质, (1): 15-23.
- 陈毓川, 毛景文, 徐志刚. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社. 1-100.
- 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 邱小平. 1998. 中国矿床成矿系列初论 [M]. 北京: 地质出版社. 1-121.
- 陈毓川. 1999. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法 [M]. 北京: 地震出版社. 1-549.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床成矿系列问题 [J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价 [M]. 北京: 地质出版社. 1-1004.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题 [J]. 中国地质科学院院报, 1(1): 32-58.
- 崔彬. 1995. 江西九瑞地区铜金成矿系列模式 [J]. 矿床地质, 14(1): 44-50.
- 毛景文, 张招崇, 任丰寿. 1999. 北祁连山西段金属矿床时空分布和生成演化 [J]. 地质学报, 73(1): 73-82.
- 毛景文, 张招崇, 杨建民, 等. 2003. 北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价 [M]. 北京: 地质出版社. 1-436.
- 裴荣富, 毛景文. 1989. 锡矿床研究新进展述评 [J]. 矿床地质, 8(2): 91-94.
- 汤中立. 2002. 华北古陆西南缘(龙首山-祁连山)成矿系统及成矿构造动力学 [M]. 北京: 地质出版社. 3-121.
- 陶维屏. 1989. 中国非金属矿床的成矿系列 [J]. 地质学报, (4): 324-337.
- 陶维屏. 1994. 中国非金属矿床的研究进展与前沿问题 [J]. 地学前缘, 1(3-4): 164-169.
- 王登红. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律 [M]. 北京: 原子能出版社. 1-103.
- 王登红, 李纯杰, 陈郑辉, 陈世平, 肖克炎, 李华芹, 梁婷. 2006. 东天山成矿规律与找矿方向的初步研究 [J]. 地质通报, 25(8): 910-915.
- 王世称, 陈永良, 夏立显. 2000. 综合信息矿产预测理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社. 1-337.
- 夏宏远, 梁书艺, 张千明. 1991. 珊瑚钨锡矿床的矿化水平带和成矿机理 [J]. 矿物岩石, 11(1): 59-72.
- 肖克炎, 王永毅, 陈郑辉, 等. 2006. 中国矿产资源评价新技术与评价新模型 [M]. 北京: 地质出版社. 1-275.
- 叶天竺, 肖克炎, 严光生. 2007. 矿床模型综合地质信息预测技术研究 [J]. 地学前缘, 14(5): 11-19.
- 翟裕生, 林新多, 池三川, 等. 1980. 长江中下游内生铁矿床成因类型及成矿系列探讨 [J]. 地质与勘探, (3): 9-14.
- 翟裕生, 熊永良. 1987. 关于成矿系列的结构 [J]. 地球科学(武汉地质学院学报), 12(4): 375-380.
- 翟裕生. 1992. 成矿系列研究问题 [J]. 现代地质, 6(3): 301-308.