

文章编号 10258-7106 (2006) 06-0735-08

成矿系列的缺位问题及其在成矿预测中的应用^{*}

毕伏科¹, 肖文暹¹, 阎同生²

(1 河北省地质调查院, 河北 石家庄 050081 2 河北师范大学, 河北 石家庄 050016)

摘 要 文章在燕山地区找矿实践中, 应用矿床的成矿系列概念和分析方法开展了成矿预测研究, 提出了成矿系列缺位概念, 其含义是指在一定的区域内, 依据矿床的成矿系列概念, 经对该区地质演化历史、矿床形成地质环境、成矿作用、成矿物质、矿床时空分布规律、成矿系列模式、成矿体系的系统研究后, 确定的成矿体系中各个序次的成矿系列在空间、时代、矿床类型、成矿元素(矿种) 等方面应当存在而尚未被发现的部分。并把成矿系列缺位分出 4 个类别, 即成矿系列空间缺位、成矿系列时代缺位、矿床类型缺位、矿床成矿元素(矿种) 缺位。对运用成矿系列缺位概念进行成矿预测时应重点研究的内容进行了初步探讨, 列举了成矿系列缺位预测成功范例。

关键词 地质学; 矿床; 成矿系列缺位; 成矿体系; 成矿预测

中图分类号: P612

文献标识码: A

Location-vacancy of metallogenic series and its application to metallogenic prognosis

BI FuKe¹, XIAO WenXian¹ and YAN TongSheng²

(1 Geological Survey of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, Hebei, China; 2 Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, Hebei, China)

Abstract

According to metallogenic prognosis researches of the application of the concept and analytical method of the metallogenic series of ore deposits based on ore prospecting practice in the Yanshan Mountain area, this paper puts forward the concept of location-vacancy of metallogenic series. This concept means that we can determine the parts which ought to be existent but has not been detected, such as earth space, metallogenic epoch, deposit type and ore-forming elements in every metallogenic series of the ore-forming system in a definite region. This is based on a systematic study of such factors as geological evolution history, geological environment of ore formation, ore-forming process, ore-forming material, space-time distribution regularity of ore deposits, metallogenic series models and ore-forming system in the light of the concept of metallogenic series. The authors divided the location-vacancy of metallogenic series into four types, namely, location-vacancy of metallogenic series on earth space, location-vacancy of metallogenic series on metallogenic epoch, location-vacancy of metallogenic series on deposit type, and location-vacancy of metallogenic series on ore-forming elements.

When making metallogenic prognosis based on the concept of location-vacancy of metallogenic series, we should emphatically study geological evolution history, every kind of geological incidents, geological environment for ore formation, minerogenic and controlling factors, tectonic features, geophysical and geochemical condi-

^{*} 本文得到地质大调查项目“中国成矿体系与区域成矿评价(1999910200293K1. 4)”、“冀西乌龙沟—上黄旗成矿带铜铅锌评价(1212010330805)”和河北省地勘局科研项目“燕山地区区域成矿体系和找矿方向研究(科 2002028)”联合资助

第一作者简介 毕伏科, 男, 1957 出生, 教授级高级工程师, 长期从事矿床地质勘查与研究。

收稿日期 2006-04-15 改回日期 2006-7-15。张绮玲编辑。

tions, the division of metallogenic series, the formation of ore deposits, and the construction of the ore-forming system. Having successfully applied the location-vacancy of metallogenic series, the authors discovered two large-size ore deposits and two medium-size ore deposits in the prognostic area.

Key words: geology, deposit, location-vacancy of metallogenic series, metallogenic system, metallogenic prognosis

成矿系列的概念最早于 1905 年由法国地质学家 de Launay 初步提出(郭文魁, 1991), 20 世纪 70 年代中国地质学家程裕淇、陈毓川等在研究宁芜玢岩铁矿时全面、系统地提出了矿床的成矿系列概念(程裕淇等, 1979)。矿床的成矿系列(简称成矿系列)概念经过二十多年持续不断的研究^①, 其学说思想日趋丰富成熟, 已成为中国地质学家创立的, 应用于矿床的形成、时空分布、预测研究, 指导矿床勘查实践的矿床学理论体系。

成矿系列学说思想是将在一个区域中与某一地质成矿作用有关的, 在空间、时间、成因上有联系的一组矿床, 作为一个整体进行研究。当在一个地区找矿时, 在详细研究区域地质构造背景的基础上, 首先运用成矿系列概念对该区的成矿环境、控矿因素、成矿作用和可能出现的矿床类型进行全面的分析和认识, 进而依据已知矿床, 寻找未知矿床, 达到扩大找矿思路, 明确找矿方向的目的^②。

笔者在燕山地区开展矿产资源评价过程中, 应用成矿系列、成矿体系理论对该区的区域成矿体系和找矿方向进行了研究, 对成矿系列的缺位问题进行了初步探讨, 并运用成矿系列缺位概念, 在全面分析地物化遥综合信息的基础上, 对该区开展了成矿预测。本文就其研究成果作一介绍, 以此促进成矿系列理论在矿产勘查中的应用。

1 成矿系列缺位概念的提出

矿床成矿系列是指在一定的地质构造单元和一定的地质发展阶段内, 与一定的地质成矿作用有关, 在不同的成矿阶段(成矿期)和不同的地质构造部位形成的不同矿种、不同类型并具有内在成因联系的矿床的自然组合体系(陈毓川等, 1994)。

成矿体系是指某一较大空间范围内各个地质历史时期各种成矿作用所形成的矿床及其与成矿作用密切相关的地质要素所共同构成的整体。其地质要

素包括成矿时代、成矿时的大地构造背景、成矿地质环境、与成矿有关的地质作用及其过程、控矿构造、特定的赋矿围岩等。它包括了在此空间范围内所构成的各个成矿系统及其相互关系(陈毓川等, 2006)。大陆成矿体系乃属矿床学研究的前沿领域。构筑成矿体系的矿床的成矿系列应包括 6 个序次(或层次), 即矿床成矿系列组合→矿床成矿系列组→矿床成矿系列→矿床成矿亚系列→矿床类型式→矿床。

成矿系列缺位的概念应表述为: 在一定的区域内, 依据矿床的成矿系列概念, 经对该区地质演化历史、矿床形成地质环境、成矿作用、成矿物质、矿床时空分布规律、成矿系列模式、成矿体系的系统研究后, 确定的成矿体系中各个序次的成矿系列在空间、时代、矿床类型、成矿元素(矿种)等方面应当存在而尚未被发现的部分。

自矿床成矿系列概念被提出, 人们就重视对矿床形成的成矿环境及矿床时空分布规律的综合研究, 同时也应用了成矿系列缺位理念进行了矿床成矿预测。成矿系列缺位预测不仅是成矿系列研究的重要内容, 也是成矿系列研究应用于地质找矿的最终归属。成矿系列缺位预测是运用矿床的成矿系列和成矿系列缺位概念对矿床进行预测, 指导地质找矿的一项工作。

2 成矿系列缺位类别

成矿系列缺位类别从不同的研究角度可划分为 4 种缺位。

(1) 成矿系列空间缺位: 指在具有特定成矿地质环境的地质单元(或区带)内, 依据矿床的成矿系列概念, 推测在特定的空间部位应当存在于成矿体系中某一序次的成矿系列, 而目前该成矿系列则尚未被发现。

(2) 成矿系列时代缺位: 指在具有特定演化历史的地质单元(或区带)内, 依据矿床的成矿系列概

① 陈毓川, 常印佛, 汤中立, 等. 2004. 中国成矿体系与区域成矿评价成果报告. 中国地质科学院矿产资源研究所.

念,在某一地质演化历史过程中的某一时代或阶段,成矿体系中应当形成的某一序次的成矿系列,而目前该成矿系列尚未被发现。

(3) 矿床类型缺位:指在具有特定地质条件和成矿作用的地质单元或区域内,依据矿床的成矿系列概念,矿床成矿系列中应当形成的一系列矿床类型式(或矿床类型式中包括的多种类型矿床)中,某一种或多种矿床类型式或矿床类型尚未被发现。

(4) 矿床成矿元素(矿种)缺位:指在具有特定地球物理和地球化学背景的成矿地质单元或区域内,依据矿床的成矿系列概念,矿床成矿系列中矿床类型式或矿床类型中应当存在的多种元素(矿种),其中一种或多种元素(矿种)尚未被发现。

四种类别的成矿系列缺位既有区别也有联系。一般说来,成矿系列空间缺位和成矿系列时代缺位包括了成矿系列分类系统中各个序次成矿系列的缺位,主要用于研究较大尺度区域的矿床成矿系列缺位,矿床类型缺位、矿床成矿元素(矿种)缺位是成矿系列分类系统中低序次缺位,主要用于研究较小范围内矿床成矿系列的缺位。四种类别的成矿系列缺位既是成矿系列研究中一个问题在不同角度的反映,又是矿床成矿系列概念中强调的四个“一定”(四要素),即一定的历史时期、一定的地质构造单元、一定的地质成矿作用和具有一定成因联系的一组矿床)内涵的全面反映。

3 成矿系列缺位预测重点研究的内容

成矿系列缺位预测是成矿系列缺位概念在矿产勘查中的具体运用,是成矿系列缺位研究的主要目的,是运用理论指导找矿的一个过程。所以在成矿系列缺位研究中应当充分运用当代基础地质学理论、成矿理论及成矿系列理论等方面的研究成果,从地质历史演化的角度研究成矿地质环境、成矿控矿因素、成矿规律,弄清成矿体系中各系列序次的内在联系,建立成矿系列模型,构建成矿体系。这些即是开展成矿系列缺位预测的前提。

笔者在应用成矿系列理论进行燕山地区区域成矿体系及找矿方向研究中,较好地运用了成矿系列缺位概念开展了成矿预测,划分了成矿区带,指出了找矿远景区和靶区(毕伏科等,2006),收到了良好的找矿效果。找到大型矿床2处,中型矿床2处,具有较好找矿前景的矿床(化)点10余处。

3.1 地质历史演化研究

成矿体系中的成矿系列往往具有鲜明的时代特征和选择性集中的倾向。从地质历史演化角度研究其在空间、时间上的变化情况,找出其规律性,可为成矿体系的建立、成矿体系中各个成矿系列序次间的划分对比提供依据。燕山地区区域成矿体系的主要成矿期集中在中新太古代、中新元古代、晚古生代和中生代4个时期。而这4个时期形成的成矿系列序次各不相同,在空间上呈有规律的展布。中新太古代形成的沉积变质成矿系列,主要分布在太古宙变质陆核中。中新元古代形成的稳定沉积型成矿系列主要分布在太古宙陆核边缘裂陷构造带中。古生代形成的与岩浆作用有关的成矿系列主要分布在东西向构造成矿带上;与沉积作用有关的成矿系列主要分布在海陆交互相内陆沉积盆地中。中生代形成的与岩浆作用有关的成矿系列既受北北东向构造成矿带控制,也受东西向构造成矿带制约,与板内造山活动带关系密切;与沉积作用有关的成矿系列主要分布在裂陷盆地和火山-沉积盆地中。

3.2 地质事件的研究

成矿作用与地质事件具有高度的相关性(Meyer, 1985),从本质上说矿床或成矿系列是地质事件的产物。在漫长地质演化历史过程中,矿床的富集、形成、保存、破坏、改造以及空间位置的变化,成矿物质组分的改变等均是地质事件的结果。它们遵循一定的地质事件发展演化方向。在研究清楚地质事件的性质和规律时,成矿体系中的成矿系列就很容易被掌握。概括地说,燕山地区地质历史经历了活动(Ar-Pt₁)—稳定(Pt₂-Pz)—活化(板内造山 Mz-Kz)三大发展阶段,每个阶段内都有重大地质事件发生。在不同地质单元内形成了与地质单元性质相匹配的成矿系列。如燕山地区迁西陆核在地壳活动(陆核形成)阶段经历了陈台沟、迁西、阜平、五台等4期构造变质事件,形成了丰富的沉积变质铁矿床,事件强度和性质的差异,使矿床的规模、数量相差很大。迁西期、阜平期铁矿数量最多,规模最大。而仅经历了五台期构造变质事件的内蒙地轴,形成的沉积变质铁矿床规模小,数量也少。

3.3 成矿环境分析

地质环境是某一地质历史时期各种地质作用形成产物的综合反映,是随时间而变化的。成矿作用是构成地质环境的一个组成部分(朱裕生等,1997)。因此,从地质历史角度分析研究区内地质环境的变

化,从空间角度研究地质单元间成矿环境的异同,对于划分成矿系列、构建成矿体系、研究成矿系列缺位、进行成矿系列缺位预测是十分重要的。如中新元古代燕山地区处于相对稳定的大陆发展阶段,为陆表海和滨浅海沉积环境,但东、中、西三部分的沉积环境却存在较大的差异,分别形成了不同类别的成矿亚系列。中部沉积了巨厚的海相陆源碎屑岩和碳酸盐岩;东部形成了与长城系高于庄组碳酸盐岩有关的铅锌硫成矿亚系列;西部在早期为一浅水盆地,接受海相陆源碎屑沉积,形成与长城系串岭沟组砂岩、粉砂质页岩有关的沉积型铁锰成矿亚系列。

3.4 成矿控制因素研究

构造运动、沉积作用、岩浆活动、变质作用等内外营力地质作用均是成矿作用的控制因素,研究它们各自对成矿作用的贡献大小、控制程度、表现形式、时空演化及其内在联系,应是成矿系列缺位研究的最基本的内容。

(1) 构造:应从构造性质、产出形式、规模、类型、区域特征、深部特征、控制因素、发展演化规律对其进行研究,进而研究其对矿床的控制作用。如燕山地区东西向深大断裂演化历史长,具继承性特点,即控制着与前中生代形成的基性、超基性岩有关的铁钒钛磷矿床,也控制着与海西期、燕山期形成的碱性杂岩、中酸性岩有关的金矿床;北东向断裂则控制着与燕山期形成的中酸性岩有关的金银铜铅锌铁矿床。冀东地区沉积变质铁矿向形构造有利于成矿。

(2) 地层:地层是沉积环境的客观记录,其物质组成、产出状态、组合形式及后期改造等均可影响到成矿系列的形成。如燕山地区中新太古宙海底火山喷发沉积地层中含有大量从深部带出的铁质,经区域变质变形作用,形成太古宙特有的沉积变质型铁矿。在石炭纪—二叠纪内陆盆地滨浅海沉积环境条件下,形成的滨海—海陆交互相沉积地层中产出铝、煤等沉积矿床。从而可以看出,对沉积建造、地层岩性、沉积相、古地理环境的研究也是成矿系列缺位研究中十分重要的内容。

(3) 岩浆岩:岩浆岩的来源、成分、类型、产状、就位机制及围岩环境的不同所形成的矿床类型、矿床规模、元素组合也不可能相同,即成矿系列不同。如燕山地区与壳源型中酸性岩浆岩有关的矿化组合为 Au-Ag-Cu,与壳幔混源型中酸性岩浆岩有关的矿化组合为 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Au-Ag。因此应加强研究岩浆岩的物质来源、物质成分、挥发分、时代、期次、

产状、就位机制、围岩类型、成因类型、形成时的物理化学条件、所处的地质构造环境等控制岩浆矿床成矿的重要因素及它们的内在联系。

3.5 地球物理、地球化学条件分析

在漫长的地质演化历史中,由于地球物质的不均匀性和构造运动的不均衡性,在地球物质的循环过程中各地质单元的地球物理和地球化学条件是不断变化的,所以在不同地质历史时期、不同空间形成的矿床元素组合、成矿系列及其它特征有明显的不同,但却有一定的规律性。

燕山地区太古宙是一个地壳厚度薄,地热梯度大,火山-岩浆活动强烈而频繁的时期(伍家善等, 1998)。在逐步形成和增生的陆核范围内,以与基性火山-沉积作用有关的铁硅质建造矿床最为重要(沈保丰等, 2006),与基性火山岩有关的铜多金属矿床也多有产出,空间上主要分布在变质基底隆起区。

元古宙地壳已出现稳定区与活动区的明显分异。前者主要是一些范围较广、厚度较大,相对稳定的陆块,后者为大量发育的裂陷槽及古裂谷。条带状硅铁质建造在其中继续发育,但它们不与大量的火山岩伴生。中元古代以后,由于大气圈与水圈中自由氧的增加,使得这类矿床不再出现,取而代之的主要是在浅水盆地形成的赤铁矿-菱铁矿矿床。如正常沉积的铁、锰矿床成矿亚系列宣龙式铁矿床。古生代地球表面氧气增多,气候湿润,温度增高,生物大爆发,是沉积矿床成矿系列最为发育的时期,与海陆过渡相沉积岩有关的 Fe、Al、煤、油页岩、黄铁矿、耐火粘土、高岭石矿床成矿系列占绝对优势。

某一地质单元的地球化学条件影响着该区矿床的种类。燕山地区属于大陆型硅镁-硅铝地壳,即花岗岩厚度大于玄武岩厚度(河北省地质矿产局, 1989),该地球化学块体中元素的分布以 Fe、Au、Pb、Zn、Ag、Cu、Mo 较丰富,使该区成矿作用表现为以与中酸性岩浆活动有关的铁、铜、钼、铅、锌、金、银等矿床的成矿作用为主,与基性、超基性岩浆活动有关的铁、钒、钛、磷、铂族等矿床的成矿作用仅分布在深大断裂带上,与酸性岩浆活动有关的钨、锡、稀有金属等矿床的成矿作用表现微弱。

3.6 成矿系列划分、模型建立及成矿体系构建

成矿体系内的成矿系列据其在时空四维域中演化历史、分布规律和内在联系,可分出不同序次。各序次成矿系列都有其独特的模型。

一个完整的矿床成矿系列模型,不仅可以反映

出一个地区内一组矿化与矿床形成的地质构造背景、成矿环境、控制因素和时空演化规律,还可以反映出该组矿化与矿床在一定地质历史发展阶段中的地质演化、成矿作用及其成矿规律(裴荣富,1995)。成矿系列的划分过程其实质是对矿床的成矿系列形成时代、成矿环境、地质成矿作用及矿床自然组合的认识过程。认识和掌握它们可有效地进行成矿预测,开展矿产评价。所以,建立成矿系列模型是进行成矿系列缺位预测的关键所在。

成矿系列内部结构包括其物质结构、空间结构和时间结构。物质结构应反映矿床的物质组分、矿化强度和矿床规模、矿床(化)类型的多样性和矿床类型的过渡性、成矿元素和成矿强度在不同矿床类型中的分配和互补性。空间结构应反映矿床、矿床的成矿系列空间分布规律性、矿化网络中各类矿床的发育程度、空间关系、先后关系、成因联系及改造情况。时间结构应反映成矿强度、成矿组分和矿床类型在时间上的变化、控矿要素随时间的演变、成矿过程的阶段性、各矿种、矿床类型和成矿作用的时间关联性。

通过成矿系列的划分、内部结构分析、模型建立,最终从地质历史演化角度,从研究区整体角度构建成矿体系,进而应用成矿系列缺位概念开展系统性成矿系列缺位预测。

4 成矿系列缺位预测应用实例^①

燕山地区位于古亚洲成矿域和滨西太平洋洲成矿域的交汇处,是中国乃至世界最古老的陆块,早前寒武纪变质基底发育,地质历史演化漫长,地质构造复杂多样,成矿地质条件优越,矿产资源丰富,矿床类型独具特色,是划分成矿系列、建立成矿体系和应用成矿系列缺位理论进行矿床预测最具有代表性的地区之一。

4.1 成矿系列空间缺位的预测实例

与燕山早期酸性岩有关的铜钼铅锌铁金银矿床成矿亚系列产于燕山裂陷带(Ⅳ级)兴隆-宽城拗陷成矿区(Ⅴ级)内,赋矿地层为遵化岩群-红旗营子岩群变质岩系、长城系-蓟县系碎屑岩-碳酸盐岩类地层。岩浆岩主要为燕山早期岩浆多次侵入活动的产物,成矿作用主要发生在燕山早期第二、第三阶段,

形成以Cu、Mo、Pb、Zn、Fe、Au、Ag元素为主的斑岩型、接触交代型、热液型等不同成因类型的矿床。为燕山地区中生代成矿体系中一个矿床成矿亚系列。该亚系列包括6个矿床类型式,即小寺沟式、寿王坟式、洒河桥式、铍尖式、峪耳崖式、长城式。该亚系列产出的地质成矿环境为变质基底陆块边缘及滑脱断裂构造带上,有燕山期花岗岩、花岗斑岩,岩体围岩为长城系、蓟县系碎屑岩和碳酸盐岩及太古界变质岩。在成矿地质环境大致相同的涞易成矿区,按成矿系列理论分析,该区中生代成矿体系中应有与燕山早期酸性岩有关的铜钼铅锌铁金银矿床成矿亚系列存在。以往的地质勘查仅在变质基底陆块边缘发现了小寺沟式、寿王坟式、铍尖式矿床,而在其东部滑脱断裂构造带中还有燕山期花岗岩、花岗斑岩,长城系、蓟县系碎屑岩和碳酸盐岩及太古界变质岩地层分布,按照成矿系列空间缺位概念预测应有峪耳崖式、长城式金矿床存在,经部署地质工作发现了易县孔各庄、柴厂金矿床,已控制的矿床规模为中型,资源远景达大型。

与峪耳崖式金矿成矿地质环境大致相同的龙关变质基底陆块南东处的滑脱断裂构造带中怀来县颜家沟一带,有燕山期花岗岩、花岗斑岩,长城系碳酸盐岩分布;与峪耳崖式金矿成矿地质环境相似的冷口—擦崖子中元古代裂陷槽内青龙县二拨子东沟一带,有燕山期花岗岩、花岗斑岩,长城系碎屑岩分布。按成矿系列空间缺位概念预测应有峪耳崖式金矿存在(图1),经部署地质工作,发现了中型或小型金矿床,金矿资源远景可达大型。

4.2 成矿系列时代缺位的预测实例

燕山地区自印支期就受太平洋板块向西俯冲影响,由稳定的增生型陆壳转化为活化型陆壳,开始板内造山。构造运动以伸展为主,并伴有比较强烈的岩浆活动。岩浆岩常沿窗棂式构造接点(即东西向继承性构造和新生的北北东向构造交汇处)及其附近上侵,岩浆岩岩性由以前的幔源基性、超基性岩转变为既有幔源基性、超基性岩,但更多为壳源中酸性岩。岩浆成矿作用由基性、超基性岩浆成矿→中酸性岩浆成矿,成岩成矿物质来源从幔源→壳源为主,成矿元素由Fe、P、V、Ti、Ni→Mo、Cu、Au演变。按照成矿系列理论分析,该区的印支期成矿系列应存在一个从幔源→壳源演变的与基性、超基性、中酸性

① 毕伏科,肖文暹,陈华山,等.2005.燕山地区区域成矿体系及找矿方向研究.河北省地质调查院.147页(内部报告)。

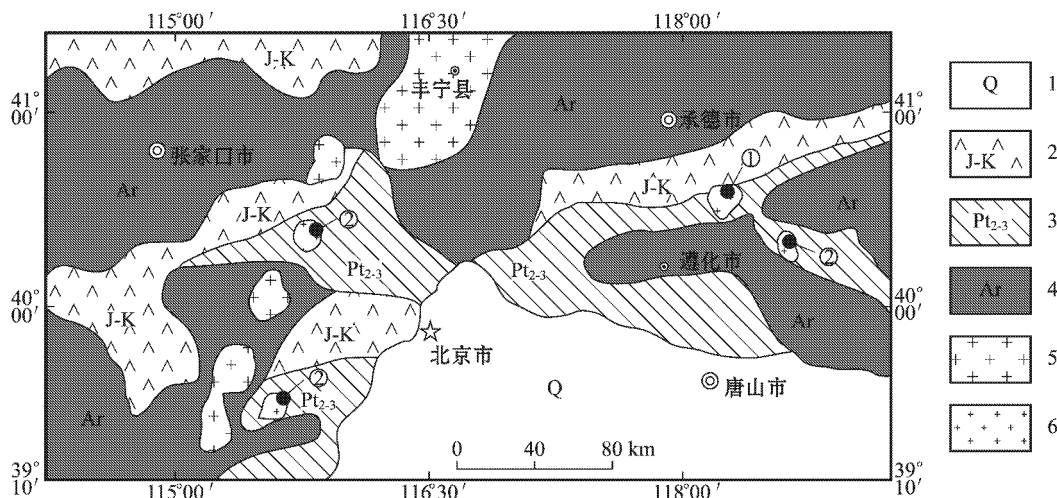


图 1 燕山地区成矿系列空间缺位预测图

1—第四系松散沉积物；2—侏罗系—白垩系火山-沉积岩；3—中上元古界海相沉积岩；4—太古界变质岩；5—花岗岩；6—花岗斑岩；①—已知金矿；②—预测的金矿

Fig. 1 Map showing space-location-vacancy of the metallogenic series in Yanshan region

1—Quaternary loose sediments; 2—Jurassic-Cretaceous volcanic rock and sedimentary rock; 3—Mid-Upper Proterozoic marine sedimentary rock; 4—Archean metamorphic rock; 5—Granite; 6—Granite porphyry; ①—Gold deposit; ②—Inferred gold deposit

岩浆岩有关的磷铁钼金矿床成矿系列。在以往偏碱性、超基性岩中发现铁磷矿的基础上,根据成矿系列时代缺位概念预测,在东西向继承性构造和新生的北北东向构造交汇处及其附近应有与中酸性侵入岩有关的钼、铜、金矿床存在。经赤城县三道营一带开展地质找矿工作,发现了金铜矿。在丰宁风山一带获得了钼矿找矿线索。

4.3 矿床类型缺位的预测实例

隆化县北岔沟门矿区位于张北-丰宁成矿区(Ⅳ级)中的上黄旗-半截塔岩浆岩带成矿区(Ⅴ级)内,是1:20万水系沉积物 As_{15} 、 As_{16} 异常分布范围,两异常规模较大, As_{15} 异常元素组合为Ag-Pb-Zn-Cu-Mo-Au, As_{16} 异常元素组合为Au-Ag。该区南西有燕山期花岗岩、花岗斑岩,出露的地层为上侏罗统张家口组,岩性为粗安质熔结晶屑凝灰岩、酸性熔岩和碎屑岩,深部有新太古界红旗营子岩群变质岩。该区经1:1万激电和1:2.5水系沉积物测量共圈出8处综合异常,自南西→北东异常主元素依次为Mo、Cu→Cu、Pb、Zn→Pb、Zn、Cu、Ag→Ag、Au。依据成矿地质条件和岩浆热液成矿演化规律,该矿床成矿系列的矿床类型应依次为斑岩型→裂隙脉状充填型→蚀变岩型,矿种应依次为铜钼矿→铜铅锌矿→铅锌银矿→金银矿。目前5、6号异常已发现了Pb、Zn矿体,7、4号异常发现了Cu、Pb、Zn矿体,成矿类型为裂隙

脉状充填型,控制铅锌资源量70万吨,2号异常经钻孔验证在化岗斑岩体中发现了Mo、Cu矿(化)体,有两层矿Mo品位达0.065%,厚度分别为1.40m和6.10m,8号异常发现了Ag、Au矿(化)体。从矿床类型和矿床成矿元素(矿种)缺位分析,预测2号异常存在着斑岩型铜钼矿、8号异常存在着蚀变岩型金银矿(图2)。该区Pb、Zn、Cu、Mo、Ag、Au资源潜力大,目前正在按照此预测成果开展矿产评价工作。

滦源县镰巴岭铅锌铜金多金属矿田位于滦易成矿区王安镇岩体北侧,矿床的形成与王安镇酸性杂岩体密切相关(许洪才等,2006),矿田已发现了接触交代型铁铜矿、裂隙充填型铅锌矿,从成矿系列理论分析,矿田内从岩体向外,由南到北矿床的成矿温度应有从高温→中温→中低温,矿床类型应为斑岩型→接触交代型→裂隙充填型→蚀变岩型,成矿元素应为Cu→Fe、Cu→Pb、Zn、Cu、Ag、Au→Ag、Au演化趋势。依据矿床类型缺位概念预测,在矿田南部花岗斑岩中应存在斑岩型铜矿,北部应存在蚀变岩型金矿。目前北部已发现了蚀变岩型金矿床,并正在花岗斑岩体中寻找斑岩型铜矿床。

4.4 矿床成矿元素(矿种)缺位的预测实例

承德县寿王坟铜铁金矿床是与晚侏罗世白旗火山旋回晚期岩浆侵入形成的沿寿王坟破火山口中上部侵位的石英闪长岩-石英二长岩杂岩体有关的多金属

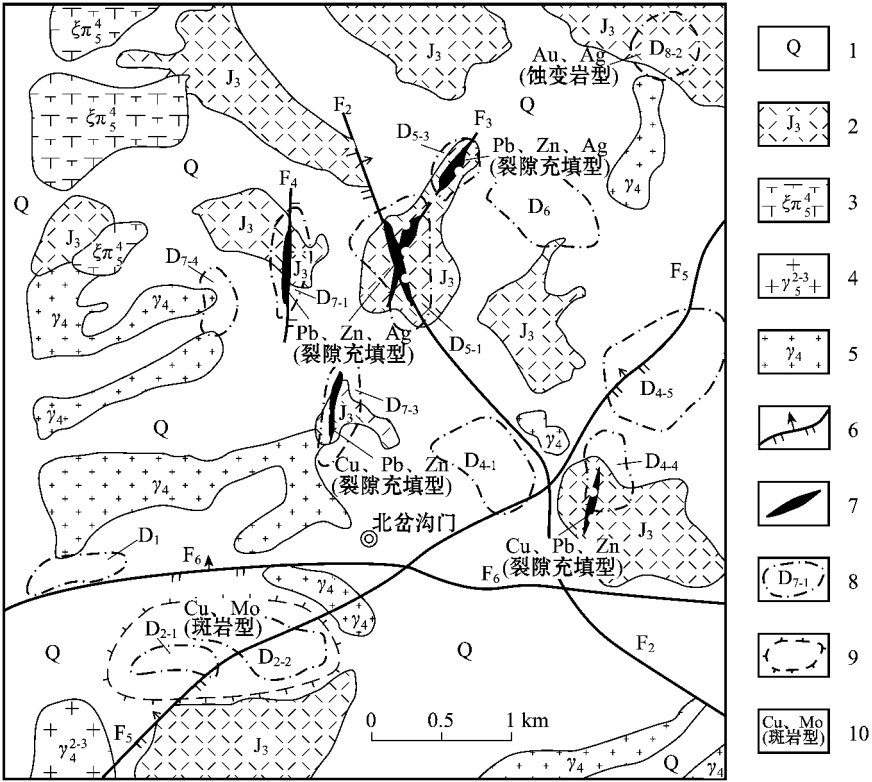


图 2 北岔沟门矿区矿床类型、成矿元素(矿种)缺位预测图(据资助项目实际资料编)

1—第四系松散沉积物;2—侏罗系张家口组酸性火山岩;3—正长斑岩;4—燕山期花岗岩;5—海西期花岗岩;6—断裂及编号;
7—矿体;8—激电异常及编号;9—隐伏岩体;10—矿床类型和成矿元素

Fig. 2 Map showing deposit types and ore-forming element location-vacancy in the Beichagoumen ore district

1—Quaternary loose sediments 2—Acid volcanic rock of Jurassic Zhangjiakou Formation 3—Orthophyre 4—Yanshanian granite;
5—Hercynian granite 6—Fault and its serial number 7—Ore body; 8—Geophysical anomaly and its serial number;
9—Hidden rock body; 10—Deposit type and ore-forming element

矿床。岩体的南西侧分布有中元古界雾迷山组燧石条带白云岩。已发现的 Mo 矿体赋存在接触带的岩体一侧,Fe、Cu 矿体主要赋存在砂卡岩带内,Pb、Zn 矿赋存在在接触带外侧燧石条带白云岩构造裂隙中,其南侧有 1:20 万水系沉积物金异常存在,按照岩浆成矿作用演化模式和成矿系列理论分析,应存在 Au 成矿元素(矿种)缺位,预测该异常应为蚀变岩型或裂隙充填型金矿引起。目前该异常正在查证,有望发现金矿床。

5 结 论

成矿系列的缺位问题及其在成矿预测中的应用研究自矿床的成矿系列概念全面系统提出之日即已开始,但开展系统的研究仅是近期才引起人们重视。本文根据在燕山地区找矿实践中应用成矿系列理论开展成矿预测中的体会,提出了成矿系列缺位概念,

并对其含义作出了界定,讨论了成矿系列缺位的类别,分析了开展成矿系列缺位预测应重点研究的内容,在实际应用中取得了较好找矿效果。研究思路、方法可供在矿产预测和矿查勘查中应用。

成矿系列缺位及其在成矿预测中的应用研究是成矿系列、成矿体系研究的一项重要内容,从理论和方法上开展深入研究,将会更大地发挥成矿系列理论在矿产勘查中的应用作用。

References

Bi X F K and Xiao W X. 2006. Ore-forming and prospective zones in Hebei province[J]. Geological Survey and Research, 29(2): 81~88(in Chinese with English abstract).

Chen Y C. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, 1(3): 90~94.

Chen Y C, Wang D H, Xu Z G and Zhu M Y. 2006. Preliminary study of Chinese mineralization system[J]. Mineral Deposits, 25(2): 155~163(in Chinese with English abstract).

- Cheng Y Q, Chen Y C and Zhao Y M. 1979. First view of the metallogenic series of ore Deposits [J]. The journal of Chinese Academy of Geological Sciences , 1(1): 32~58 (in Chinese).
- Cheng Y Q. 1994. Introduction of regional geology of China [M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese).
- Guo W K. 1991. A review about the development of ore deposit geology [J]. Mineral Deposits , 10(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional geology of Hebei Province , Beijing municipality and Tianjin municipality [M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese).
- Mitchell A. H. G and Garson M. S. 1981. Mineral deposits and global tectonic setting [M]. London : Academic Press.
- Mao J W, Song S H and Chen Y C. 1988. Igneous rock series and metallogenic series of tin polymetallic deposits in north Guangxi region [M]. Beijing : Beijing Sci. & Techn. Press. 196 (in Chinese with English abstract).
- Meyer C. 1985. Ore metals through geologic history [J]. Science , 227 : 1421~1428.
- Petruscheck W E. 1965. Typical features of metallogenic provinces [J]. Econ. Geol. , 60 : 1620~1634.
- Pei R H (Chief editor). 1995. Mineral deposit models of China [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1~35 (in Chinese).
- Shen B F, Zhai A M, Chen W M and Yang C L. 2006. The Precambrian mineralization of China [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1~36 (in Chinese with English abstract).
- Wu J S, Geng Y S, Sheng Q H, Wan Y S, Liu D Y and Song B. 1998. Archaean geology characteristics and tectonic evolution of China-Korea paleo-continent [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1~207 (in Chinese).
- Xu H C, Bi F K, Zhang D S, Shi X L, Yao B G and Deng S Y. 2006. Polymetallic metallogenic regularity of the Wanganzhen complex in Laiyuan county , Hebei Province [J]. Geological Survey and Research , 29(1): 11~20 (in Chinese with English abstract).
- Zhang B M, Zhao G L, Ma G X and Bi F K. 1996. The metallogenic series and patterns of the deposits in primary metallogenic area and belts of Hebei province [M]. Beijing : Petroleum Industrial Press. 1~27 (in Chinese).
- Zhai Y S, Peng R M, Xiang Y C. 2004. Study method of Regional mineralization [M]. Beijing : China Dadi Press. 1~183 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y S, Li C J and Wang Q M. 1997. Geologic setting of mineralization analysis [M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕伏科, 肖文暹. 2006. 河北省成矿区带和找矿远景区 [J]. 地质调查与研究 , 29(2): 81~88.
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列 [J]. 地学前缘 , 1(3): 90~94.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 朱明玉. 2006. 对中国成矿体系的初步探讨 [J]. 矿床地质 , 25(2): 155~163.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列 [J]. 中国地质科学院院报 , 1(1): 32~58.
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论 [M]. 北京 : 地质出版社.
- 郭文魁. 1991. 金属矿床地质的发展 [J]. 矿床地质 , 10(1): 1~9.
- 河北省地质矿产局. 1989. 河北省北京市天津市区域地质志 [M]. 北京 : 地质出版社.
- 毛景文, 宋叔和, 陈毓川. 1988. 桂北地区火山岩系列和锡多金属矿床成矿系列 [M]. 北京科学技术出版社. 1~196.
- 裴荣富 (主编). 1995. 中国矿床模式 [M]. 北京 : 地质出版社. 1~357.
- 沈保丰, 翟安民, 陈文明, 杨春亮. 2006. 中国前寒武纪成矿作用 [M]. 北京 : 地质出版社. 1~362.
- 伍家善, 耿元生, 沈其韩, 万渝生, 刘敦一, 宋 彪. 1998. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化 [M]. 北京 : 地质出版社. 1~203.
- 许洪才, 毕伏科, 张德生, 石晓兰, 姚宝刚, 邓绍颖. 2006. 河北省涞源县王安镇杂岩体多金属成矿规律 [J]. 地质调查与研究 , 29(1): 11~20.
- 章百明, 赵国梁, 马国玺, 毕伏科. 1996. 河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式 [M]. 北京 : 石油工业出版社. 1~272.
- 翟裕生, 彭润民, 向运川. 2004. 区域成矿研究方法 [M]. 北京 : 中国大地出版社. 1~183.
- 朱裕生, 李纯杰, 王全明. 1997. 成矿地质背景分析 [M]. 北京 : 地质出版社.