

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.04.004

引用格式:周济元,崔炳芳.成矿体系研究和应用新进展[J].华东地质,2018,39(4):271-278.

成矿体系研究和应用新进展

周济元,崔炳芳

(中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016)

摘要:在探索成矿规律和找矿实践中,从岩浆热液成矿、成矿构造体系和成矿系列等研究,提出了“成矿体系”的概念,分别赋予不同定义并用于找矿实践,取得了一定成果。但对成矿体系源于何时、出于何处、原意为何等问题却较少追究,也存在一些争议。文章就成矿体系的概念,从岩浆热液成矿到岩浆—热液—成矿体系、成矿构造体系到成矿体系和成矿系列构筑成矿体系的由来,综合概括,提出成矿体系的新定义,揭示其新特点,并对断裂网络+成矿体系、成矿结构体系和成矿系列缺位的思路和方法进行成矿预测、资源潜力评价和矿产勘查取得的新成果及新进展,作简要论述,以供借鉴。

关键词:成矿体系;成矿预测;断裂网络;成矿结构体系;成矿系列缺位;新进展

中图分类号:P612

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2018)04-271-08

在探索矿床成矿规律,进行成矿预测、资源潜力评价和矿产勘查的实践中,对岩浆热液成矿、成矿构造体系和成矿系列研究的基础上,提出“成矿体系”的概念。“成矿体系”应用于成矿预测、资源潜力评价和矿产勘查实践取得了一定成果。但是,对“成矿体系”一词究竟源于何时、出于何处、原意为何等问题却较少追究,这在一定程度上影响了对这一概念的科学借鉴、正确评价和广泛应用。此外,“成矿体系”在地质矿产学术界也有一些争议,因此有讨论的必要。本文就成矿体系概念,从“岩浆热液成矿”到“岩浆—热液—成矿体系”,“成矿构造体系”到“成矿体系”和“成矿系列构筑成矿体系”由来,提出成矿体系新定义,并揭示其新特点。用断裂网络+成矿体系、成矿结构体系和成矿系列缺位进行成矿预测、资源潜力评价和矿产勘查获得的新进展,作简要叙述和讨论。

1 成矿体系概念

在外文中,“体系”和“系统”为同一词,英文为

system,俄文为 система,与“系列”(英文为 series;俄文为 серия)不同。根据《现代汉语词典》^[1],体系指若干有关事物或某些意识互相联系而构成的整体,系统指同类事物按一定关系组成的整体,系列指关联的或组成套的事物。鉴于此,笔者认为,在成矿规律研究中,用“体系”一词更接近于成矿体系的实际,英文用 metallogenic system、俄文用 металлогеническая система 表示。

2 成矿体系由来

成矿体系最早见于 1973 年俄文《地质词典》^[2]和 Sillitoe R H^[3]发表的文章,后有学者将其定义为“涉及成矿物质来源、物质运移途径和矿床定位的物理—化学体系”^[4]。此后,学者们从不同角度提出了成矿体系及其定义并用于成矿规律研究,指导成矿预测、资源潜力评价和矿产勘查。总体看,成矿体系主要由以下 3 个方向演化而来。

2.1 从岩浆热液成矿到岩浆—热液—成矿体系

Sillitoe R H^[3]研究智利 Los Pelambres 斑岩铜

* 收稿日期:2017-08-10 修订日期:2018-01-21 责任编辑:谭桂丽

第一作者简介:周济元,1936 年生,男,教授,博导,主要从事构造地质学、地质力学、地震地质学、构造动力成岩成矿、成矿预测和非金属矿开发研究。

矿空间垂直变化规律时提出斑岩铜矿体系的概念,一方面将斑岩体、角砾岩筒、蚀变岩体、同源层状火山岩和沉积岩及与斑岩体相连的7 km深的岩基作为整体,另一方面将时空、成因密切的不同部位、不同深度、不同距离形成的矿化作为同一体系的产物。Sillitoe R H等^[5-6]和Jones B K^[7]研究美国、南美和东南亚富金斑岩铜矿体系,发现除中央Cu—Au矿带外,斑岩体外围存在1个相当于黄铁矿带的中间金矿带,矿化类型包括远端矽卡岩型、剪切带脉型和网脉型,还有1个远端(远成)金矿带,两侧浅成中低温热液型和卡林型矿化类型^[5]。之后,众多学者从岩浆热液成矿着手,从成矿作用及其过程中形成的矿床类型、矿床组合、时空分布和共生关系等角度提出成矿体系的概念^[8-18]。戚建中等^[9]将斑岩成矿体系定义为“在同一个火山—侵入旋回,围绕同一个岩浆活动中心,通过岩浆作用和岩浆引起的热液对流或射气作用,在不同深度(0~5 km)和水平距离环绕中心斑岩体形成一系列不同成因、不同组合类型矿化的总和”,强调“成矿体系既指动态成矿多相体系,又指这一过程产生的结果”,提出中国东南部富金斑岩成矿体系结构与定位的金矿预测思路^[19]。

2.2 从成矿构造体系到成矿体系

周济元等^[20-21]提出控矿和成矿构造体系,将构造体系作为控制成矿的重要因素,即双重控制作用。(1)构造控矿作用。构造运动引起地壳变形,生成褶皱和断裂,为矿液提供运移通道和沉积场所。(2)动力控矿作用。当断裂沟通深部矿液源后,构造运动叠加热动力驱使深部含矿岩浆、热液循道运移,流体内压力差驱动含矿流体由高压部位向低压部位运移^[22]。在地壳蕴藏的矿产受成矿地质条件和矿产分布规律双重控制,成矿条件决定岩性和岩体、岩层生成时的环境及其相互关系,矿产分布规律与成矿条件有关,但主要受构造体系控制^[23]。据此思路分析构造体系,以分析构造体系为基础,分析矿产与构造体系发生及发展阶段、部位及其与成矿条件的关系,分析控矿和成矿规律,如构造体系的规律控矿、部位控矿、分级控矿、序次控矿、所控岩体岩层控矿、联合复合控矿和不同力学性质构造形迹的控矿规律。运用这些规律,预测矿产可能存在的部位、地段和地区,为进一步找矿部署提供预测区和依据。

成矿构造体系^[24-26]又叫成矿期构造体系,指控制成矿作用和矿产分布的构造体系。空间上控制成矿区、成矿带、矿田、矿床、矿体或矿化分布;时间上构造变形、岩浆活动和成矿作用属同一作用过程,即成矿作用是成矿构造体系发展某一阶段的产物,或一个构造体系的末尾阶段向另一构造体系开始阶段的产物;或不同构造体系一定阶段叠加的产物。成矿构造体系的构造成分比矿化阶段出现早,可与矿化阶段同时,但成矿作用、岩浆活动和构造变形同时受某一种或两种应力场的统一或先后作用控制,具有成生联系,也有一定的内在规律。可见,成矿构造体系一定是含矿的,但并非整个成矿构造体系的所有构造都含矿,其中某1条断裂也只是在某些部位含矿,另一些部位则完全不含矿。

周济元等^[27]对红山矿田成矿构造体系、成矿机制和矿床成因进行研究,发现成岩成矿时间相近、相随。空间分布既穿插又过渡。花岗斑岩、花岗闪长斑岩和隐爆角砾岩相互穿插,花岗斑岩、花岗闪长斑岩和隐爆角砾岩由下而上、由内向外逐渐过渡。矿石矿物组分和化学成分相似或渐变,主要矿物组分、化学成分、伴生组分和微量元素既有相似性又有规律性,成矿物理化学环境和成矿物质来源具有相似性和规律性,矿床类型五位一体。红山铜矿田上部为隐爆角砾岩型铜矿,向深部依次为花岗斑岩、花岗闪长斑岩型铜矿,岩体中有断裂破碎带充填交代型铜矿,边缘有接触带细脉浸染型铜矿,外围有断裂充填交代型铜(银)矿等五位一体,综合考虑同一矿田的大顶山、大江畔和上廊一带的斑岩型铜(银)或银铅锌(铜)矿和站塘一带的火山岩型铜银矿,则为六位或七位一体。新疆东部马庄山金矿床具有类似特征^[28]。据此,提出成矿体系概念,将成矿时代相近、成矿物质相似、成矿环境相同、受同一构造体制控制、在同一成矿作用及其过程中形成的具有成因联系的不同类型矿床(化)构成的一个自然整体。

2004年,笔者在南岭东段典型钨矿床实地调查和综合分析后发现,与同一岩浆岩体有关的不同类型钨矿床在空间呈规律性分布。在成矿体系的基础上,突出矿床类型的空间结构分布,提出成矿结构体系概念,把矿床(点、体)类型不同,矿种、成矿条件及范围不同,但成矿物质来源相似、成矿时间相近、成矿地质构造背景相同、有规律分布和成因联系的矿床(点、体)作为整体^[29]。钨矿岩浆型成矿

结构体系是在前人钨矿石英脉型“五层楼”成矿模式的基础上,提出以岩浆岩体为中心,由外接触带向内接触带和岩体内部,矿床(化)类型依次为石英脉型(五层楼)和断裂破碎蚀变岩型、接触带型和岩体型。当上部找到石英脉型“五层楼”后,在其两侧找群楼(断裂破碎蚀变岩型、矽卡岩型或硅质岩型),其下找地下室(伟晶岩型、云英岩型),再下找地基(花岗岩型、斑岩型、隐爆角砾岩型,岩体型有时二次或二次以上侵入(复式)而有两层或两层以上矿层/体)。

2.3 以成矿系列构筑成矿体系

从矿床成矿系列研究入手,以成矿系列构筑成矿体系^[30-32]。程裕淇等^[33]指出每一成矿系列包含不同类型,空间和时间伴生,即在不同地区、不同成矿期但具有相似的地质背景时,可大致重复出现。因此,在充分了解区域性质和成矿特征的前提下,可互为区域性的或区域内的找矿标志。以此为基础,研究国内其他矿种并对比国外部分矿床,认为成矿系列可用于众多地质背景中不同矿床的成矿分析。程裕淇^[34]进一步提出矿床成矿系列的四级分类方案,即矿床成矿系列组合、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列和矿床类型。与三大岩类对应,将成矿系列划分3大组合,在一个系列中根据构造、岩浆活动在各部位的表现不同划分亚系列^[35]。翟裕生等^[36]论述了成矿系列的理论基础和研究内容。陈毓川等^[37]进一步完善成矿系列概念,阐述了我国主要成矿带的各类成矿系列。1999年,陈毓川等提出成矿体系的概念^[38],2007年,陈毓川等^[39]认为成矿体系的基本组成是矿床成矿系列,是具有内在成因联系的、在时间和空间尺度上有序分布的、反映一定环境的一系列矿床自然组合,即矿床成矿系列,强调不同时代、不同空间分布的矿床成矿系列构成的成矿体系,中国大陆成矿体系是各地质历史时期成矿作用的结果。

综上,笔者认为,所谓的成矿体系,指在一定构造环境和时空范围内,若干成矿地质要素相互融合,一定成矿作用及其过程和机制形成有成因联系的一系列尚存矿(化)床类型构成的自然体系,包括成矿构造环境、成矿地质要素、成矿时间和空间、成矿作用及其过程和动力学机制、矿(化)床类型等,揭示矿(化)床形成的构造环境、时空、物质、运移、聚集、沉淀、形成、叠加、破坏、消失、再形成等演化

的整体性、统一性、结构性、复杂性、规律性和循环往复性。

3 成矿体系的运用

鉴于成矿体系由上述3个研究方向演化而来,其定义和内涵有所差异,用于找矿实践的思路和方法不完全相同,找矿效果也不相同。现择断裂网络+成矿体系的结构、成矿结构体系和成矿系列缺位进行矿产勘查、资源潜力评价和成矿预测。

3.1 用断裂网络+成矿体系的结构进行成矿预测和矿产勘查

戚建中等^[43]对中国东南部富金斑岩成矿体系结构进行研究,建立理想的成矿模式,结合富金斑岩成矿体系的结构定位进行成矿预测。

3.1.1 成矿体系的结构

斑岩成矿体系的结构指相对于斑岩体形成的岩相、矿化、矿物、蚀变和地球化学特征在三维空间的分带。

(1)岩相分带。从隐晶质次火山斑岩体到粒状浅成岩株,均可形成斑岩型或类斑岩型矿化。斑岩体有多次侵入并常伴随次火山隐爆角砾岩筒,成矿斑岩体平面一般为0.1~100 km²,矿集区或矿田的斑岩体群向深部(0.5~2.5 km)连成一片。斑岩体或伴随隐爆角砾岩体向上或向两侧形成岩枝状分叉,超浅成斑岩体与火山颈相、管道相连结。某些情况下,斑岩体与火山岩的构造体制有区别。侵入岩形成于相对挤压环境,火山岩形成于相对拉张环境。下扬子地区“前火山期”的火山根部相“斑岩体”与火山岩无直接联系,斑岩体可分为有火山顶盖和无火山顶盖2类。

(2)斑岩型矿化蚀变与浅成低温热液型矿化蚀变过渡。东南地区富金斑岩成矿体系的金矿或伴(共)生金矿有火山沉积—热液改造型、浅成热液(高硫)型、浅成热液(低硫)型、次火山隐爆角砾岩型、斑岩或类斑岩型、矽卡岩型、远端矽卡岩型、中高温热液型和远端中低温热液型。紫金山—碧田矿田剖面由下而上,矿化由斑岩型Cu—Mo组合直接过渡为浅成低温热液型Cu—Cu(Au)组合;热液蚀变由斑岩型矿床中心钾化带—强硅化带—硅化绢云母化带,向上过渡为浅成低温热液型石英—地开石带—石英明矾石带,顶部为强硅化带(硅帽);矿物组合由斑岩型辉钼矿、斑铜矿、黄铜矿组合,向

上过渡为浅成热液型闪锌矿—方铅矿组合—硫锑铜矿—兰辉铜矿—黄铁矿—黄锡矿—硫锡铁铜矿—自然金组合—铜蓝—黄铁矿—自然金组合。

(3)地球化学分带。铜厂铜(金)矿床的 Cu—Mo 晕限于斑岩体及其附近,而 Pb—Zn 晕在铜厂斑岩体接触带 0.5 km 外围分布,包括铜厂岩体及其外围——银山矿集区主体。安徽铜陵新桥含矿石英闪长岩岩株原生晕金晕最宽达铅锌矿化带外围,吉蒙多金属矿田呈既套叠又分带的多种元素地球化学晕。

(4)水平断面。富金斑岩成矿体系具垂直分带,每一水平断面岩相、矿化、蚀变种类及其分带,地球化学分带虽不相同,却有对应关系。如矿田剥蚀面代表成矿体系不同垂深的水平断面,紫金山—碧田铜金矿田为超浅,银山金铜多金属矿田为浅,铜厂金山铜金矿田为中浅,吉蒙多金属金矿田为中深,大背坞金矿田为深。

3.1.2 富金斑岩成矿体系的结构定位

中国东南部富金斑岩成矿体系主要形成于燕山早期和晚期相对挤压至相对拉张的构造体制,矿田(床)定位受多种地质因素控制。

(1)地体定位。各地体的地壳厚度、结构、基底和盖层的金矿建造不同,在相似构造体制下产生的岩浆活动和成矿作用也有差异。

(2)NNE 向平移带定位。中生代,中国东南部几乎所有金矿床、伴(共)生金矿床均沿 NNE 向平移断裂带分布,其中萧山—南靖、宣城—汕尾和赣江断裂带形成长达 1 000 km 的金矿带。

(3)断裂网络定位。东南地区一级控矿断裂网络由 13 条 NNE 向主干断裂带、14 条 NE 向断裂带和 NW 向、EW 向断裂带构成。断裂网络定位控矿的特点如下。

①网络结点分层次定位。间距 40~60 km 的区域性一级控矿主干断裂带与其他断裂带构成的网络,结点控制不同规模、不同类型矿田(床)定位,间距 5~6 km 的区域性二级断裂组成的网络,其结点控制金矿床(点)。

②隆起拗陷定位。与 NNE 向左行剪切断裂带有关的挤压隆起和拉分拗陷盆地,有利于矿集区和大型矿床形成。

③与基底复合定位。一级控矿断裂网络结点或断裂复合部位若为晋宁期构造缝合线,有利于矿集区和大型矿床定位。

④NW 向张剪性断裂定位。在 NNE 向挤压平移断裂带影响下,NW 向断裂带呈张剪性,在二者交汇部位为斑岩浆和成矿流体提供低压空间,利于矿田(床)定位。

⑤局部断裂网络定位。矿集区或矿田不同类型金属矿床既受成矿体系矿化分带制约,又受局部断裂网络或矿田构造型式控制。

3.1.3 成矿预测或靶区优选

(1)预测矿产地、确定普查评价基地,需建立不同层次控矿断裂网络及不同类型成矿体系的成因——找矿模型。

(2)在内生金属矿床多种“定位”因素中,断裂网络应列首位。而断裂网络又分为全球、区域一级、区域二级和局部等层次。

(3)内生金属矿床由若干矿床组合而成矿田。同期形成的内生金属矿床(化)常为同一成矿体系,建立富金斑岩成矿体系三维成因——找矿模型,以鉴别矿田—成矿体系剥蚀深度,预测出露或隐伏金属矿化类型。

(4)矿田(床)呈点式分布。成矿预测从大区域勾划 10~100 km² 矿田级成矿区或远景区。内生金属矿产预测和靶区优选,要研究成矿地质背景,选择富金地体或成矿省;确定目标层次,建立相应层次控矿断裂网络并构建不同类型成矿体系。选择找矿信息变量,评价其贡献大小,确定预测、优选模型单元和预测单元进行定性或定量成矿预测或靶区优选。

3.2 用成矿结构体系进行成矿预测、靶区优选和矿产勘查

3.2.1 靶区优选或矿产基地选择

周济元等^[29]通过对南岭东段典型钨矿床实地调查和分析,发现与燕山期花岗岩有关的不同类型钨矿在空间呈一定规律分布。在选择钨矿评价基地时,运用成矿结构体系理论模式,选择地表仅有石英脉型钨矿点及晚古生代浅变质碎屑岩和碳酸盐岩地层,EW 向、NE 向和 NNE 向构造复合部位,1:20 万化探呈 EW 向展布的 W、Sn、Mo、Bi、Pb 综合异常,F 矿化剂及重砂钨、锡异常可形成钨锡矿产基地的南岭东段广东始兴石人嶂—梅子窝—师姑山地区,具有较好的找矿远景或潜力。经过 10 多年的找矿勘查,南山、良源矿区分别查明为特大型钨锡多金属矿床和大型铌钽铷钨多金属

矿床^[40-44]。

3.2.2 异常区矿产勘查

肖惠良等^[43-44]在始兴石人嶂—梅子窝—师姑山地区开展1:5万水系沉积物测量,圈定南山、良源多处W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Ag综合异常。经查证,南山和良源异常区地表均有大量含钨石英脉和含钨钼云英岩型矿化体。按照钨矿成矿结构体系矿床类型的空间分布规律,有石英脉型(五层楼),可能在其两侧找到断裂破碎蚀变岩型,矽卡岩/碳酸盐岩型、硅质岩/砂板岩型组成的群楼;其下,有云英岩型,还可能有伟晶岩型组成地下室;再下,可能找到岩体型(含花岗岩型、斑岩型、隐爆角砾岩型,如岩浆二次或以上侵入(复式)岩体,可能形成二层或以上矿层/体)组成的地基。该区在石英脉型两侧和下面有可能找到破碎蚀变岩型、矽卡岩/碳酸盐岩型、硅质岩/砂板岩型,在云英岩型相当层位找到伟晶岩型,下面找到花岗岩型、斑岩型、隐爆角砾岩型等钨锡钼多金属矿床类型。在钨矿成矿结构体系中,石英脉型(五层楼)钨矿床类型不仅是扩大找矿(石英脉型)的目标,也是进一步找矿(其他矿床类型)的重要标志,预示该区矿产资源潜力巨大。

(1)南山、良源异常区地质特征

赋矿地层为中泥盆统,老虎头组主要为中厚层变质砾质石英砂岩、含砾石英砂岩、细粒石英砂岩、细粒长石石英砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩等。底部以变质砾质砂岩与下泥盆统杨溪组整合接触。春湾组主要为中厚层变质复成分砾岩、砾质岩屑砂岩、含砾杂砂岩、中细粒长石石英砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩。天子岭组上部为千枚岩夹砂泥质灰岩,局部有矽卡岩化、角岩化;中部为千枚岩夹簿层绢云母石英砂岩;下部为厚层灰白色绢云母石英岩与千枚岩互层,偶夹长石石英砂岩。

(2)南山、良源异常区矿产勘查

南山异常区:经1:10 000土壤地球化学测量和1:10 000、1:2 000地质矿产图及剖面图测制,圈出强度高、规模大、延续性好的W、Sn、Mo、Bi、Cu综合异常。经查证,地表找到花岗岩型钨钼多金属矿化体,槽探发现含钨锡云英岩型矿体和与钨钼多金属矿化有关的细粒二云母花岗岩和细粒黑云母花岗岩岩体,部分岩体见黑钨矿、辉钼矿大量富集。经ZK301和ZK401孔深部追索,均见多层厚度较大的钨钼多金属矿体,ZK301孔在84~88 m见云

英岩型钨钼多金属矿体,Bi、Sn、Pb、Zn、Ag也达工业品位。在Zk303、Zk403和ZK505孔发现多层云英岩型和花岗岩型钨钼多金属矿体,ZK303孔263~270 m见花岗岩型钨钼多金属矿体,表明花岗岩浆二次或以上侵入形成二层或以上矿层/体。在松岗梗—牛骨顶一带矽卡岩型钨锡多金属矿体广泛分布,23个矿体总厚294.7 m。以上说明,该区有石英脉型钨钼多金属矿体、矽卡岩型钨锡(铋)多金属矿体、云英岩型钨钼多金属矿体、蚀变花岗岩型钨锡钼多金属矿体和斑岩型钨钼多金属矿体,笔者野外现场还见破碎蚀变岩型钨多金属矿体。从成矿结构体系所列矿床类型,除隐爆角砾岩型外,所有矿床类型俱全,即五层楼、群楼、地下室和地基都有各自类型的矿床(体)。

良源异常区:经1:10 000土壤地球化学测量、1:10 000、1:2 000地质矿产图及剖面图测制,圈出2个综合异常。上营—河渡W、Sn、Mo、Bi、Cu、Nb、Be、Li、Sb、As、Ag综合异常,呈近圆形,面积约2 km²,元素异常浓度分带清晰,浓集中心位于上营附近;杉林地—上岗Sn、W、Bi、Pb、Zn、U、Ag综合异常,呈EW向带状,面积约4 km²,元素异常浓度分带清晰,浓集中心位于上岗及其以东一带。经查证,含矿石英脉密布,V4脉全长1 075 m,连续长约为812 m,厚0.88~1.74 m,产状203°∠77°,两端分支,矿化强烈,为石英—破碎蚀变岩型钨锡银多金属矿体。良源上营民隆,伟晶岩沿花岗岩体顶部呈层状、花岗细晶岩脉上部或其两侧接触带呈脉状分布,厚<4 m,肉眼可见辉钼矿、黄铜矿。槽探1线见含钨钼铋钽多金属矿的细粒花岗岩脉,W、Mo、Ta₂O₅、Nb₂O₅、Zn、Pb达工业品位。通过深部追索,上营—河渡综合异常,ZK101孔、ZK102孔于燕山早期细粒黑云母花岗岩体顶部有规模较大的云英岩型和白云母钠长石花岗岩型铋钽铷钨多金属矿体,钼铋稀土矿局部达工业品位。ZK302孔于花岗岩与上泥盆统天子岭组接触带石榴子石透辉石矽卡岩中,有厚10余米的矽卡岩型钨矿体。该区有石英脉型钨锡多金属矿体、石英—破碎蚀变岩型钨锡银铅锌多金属矿体、矽卡岩型钨钼多金属矿体、云英岩型铋钽铷钨钼多金属矿体、伟晶岩型钨钼多金属矿体和花岗岩型铋钽铷钨钼多金属矿体。按成矿结构体系所列矿床类型,除斑岩型和隐爆角砾岩型外,所有矿床类型俱全,即五层楼、群楼、地下室和地基都有各自类型的矿床(体)。

3.3 用成矿系列缺位进行资源潜力评价和矿产勘查

3.3.1 成矿系列缺位

矿床成矿系列是将其“成矿过程作为四维空间的完整体系,由 2 个或更多矿床类型所组成,彼此之间存在内在联系”^[45]。在一个成矿区(带)划定矿床成矿系列或在一个成矿亚区(或亚带)划定矿床成矿亚系列时,前提是彼此存在内在联系,在不同地区或不同时代的相似地质构造环境中形成的各种不同成因类型矿床在时空分布上相互制约。各个矿床成矿系列包含的矿床类型不同,但一个矿床成矿系列具有内在联系的矿床类型是一个“组合数”,称为该系列所涵盖的各种可能矿床类型的“全位”。如果在类似地质构造单元内只发现 2 种类型,即可推测尚有 3 种类型矿床未被发现,这种“暂时”缺席类型矿床被称为“缺位”矿床,可作为成矿预测的重要依据,也有助于评价资源潜力。

3.3.2 用成矿系列缺位进行成矿预测和矿产勘查

毕伏科等^[46]对河北燕山地区成矿系列进行研究,提出成矿系列缺位概念,并划分了缺位类型,分别为空间、时间、类型和成矿元素缺位。

(1) 空间缺位预测。该区与燕山期中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)兴隆—宽城拗陷成矿区(Ⅴ),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,成矿作用主要在燕山早期第二阶段和第三阶段,以 Cu、Mo、Pb、Zn、Fe、Au、Ag 为主的斑岩型、接触交代型和热液型,为中生代成矿体系成矿亚系列,包括小寺沟式、寿王坟式、洒河桥式、铍尖式、峪耳崖式和长城式。成矿构造体制为变质基底陆块边缘及滑脱断裂带,有燕山早期花岗岩和花岗斑岩,围岩为长城系、蓟县系碎屑岩和碳酸盐岩及太古宇变质岩系。在滦易成矿区,有与燕山早期中酸性岩有关的铜钼铅锌铁金银矿床成矿亚系列。过去仅在变质基底陆块边缘发现小寺沟式、寿王坟式和铍尖式矿床,在其东的滑脱断裂带燕山早期花岗岩、花岗闪长岩,长城系、蓟县系碎屑岩、碳酸盐岩及太古宇变质岩,按成矿系列缺位,还有峪耳崖式和长城式金矿床。经勘查,发现易县孔各庄和柴厂金矿床,已控中型,远景资源量可达大型。与峪耳崖式金矿床成矿地质条件相似的龙关变质基底陆块南东滑脱断裂带怀来县颜家沟一

带,有燕山早期花岗岩和花岗斑岩,长城系碳酸盐岩。与峪耳崖式金矿床成矿地质条件相似的冷口—擦崖子中元古代裂陷槽的青龙县二拨子东沟一带,有燕山早期花岗岩、花岗斑岩,长城系碎屑岩,应有峪耳崖式金矿床。经勘查,为中型和小型,远景资源量可达大型。

(2) 时间缺位预测。该区印支期由增生型转化为活动型陆壳,以伸展为主,伴有强烈的岩浆活动,沿先成 EW 向构造与 NNE 向构造复合部位上侵,有幔源基性、超基性岩,壳源中酸性岩,依次有基性、超基性—中酸性岩浆有关的成矿物质和成矿作用,依次由 Fe、P、V、Ti、Ni 到 Mo、Cu、Au,先后有上述岩浆有关的铁磷钼金矿床成矿系列。经勘查,在赤城县三道营一带发现金钼矿床,丰宁凤山一带获得找矿线索。

(3) 类型缺位预测。在隆化县北岔沟门矿区,1:20 万水系沉积物 As₁₅、As₁₆ 异常规模较大,前者为 Ag-Pb-Zn-Cu-Mo-Au 组合,后者为 Au-Ag 组合。南西有燕山期花岗岩、花岗斑岩,地层为上侏罗统张家口组粗安质熔结晶屑凝灰岩、酸性熔岩和碎屑岩,深部为新太古界红旗营子岩群变质岩。1:1 万激电和 1:2.5 万水系沉积物测量,圈出 8 个综合异常。依据成矿地质条件和岩浆热液成矿作用及其过程,矿床类型依次为斑岩型—裂隙充填型—蚀变岩型,矿种依次为钼铜矿—铜铅锌矿—铅锌银矿—金银矿。查明 5 号和 6 号异常为铅锌矿体,4 号和 7 号异常为铜铅锌矿体,矿床类型为裂隙充填型,已控铅锌资源量 70 万 t。2 号异常钻孔在花岗斑岩中有二层铜钼矿(化)体,8 号异常为银金矿(化)体。

4 结 论

(1) 成矿体系最早见于俄文《地质词典》和 Sillitoe R H 的有关文章,将其定义为由成矿物质来源、运移通道和矿化堆积场所组成的自然体系。后期研究认为主要由岩浆热液成矿、成矿构造体系和成矿系列演化构筑而成为成矿体系。

(2) 成矿体系的新定义包括成矿体系研究的基本内容,揭示成矿体系形成演化的整体性、统一性、结构性、复杂性、规律性和循环往复性。

(3) 成矿体系应用于成矿预测、资源潜力评价和矿产勘查,相应应有 3 种思路和方法,分别为断裂网络+成矿体系、成矿结构体系和成矿系列缺位,虽

有共同点,如矿床新类型的揭示;也各有特色,都取得了一定成果和新进展。但在理论的精准性和方法的可操作性却有明显差异,需要深化研究,取长补短,加以完善和提高。

参考文献

- [1] 中国社会科学院语言研究所.现代汉语词典[M].南京:商务印书馆,1983.
- [2] Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт(всегей) министерства геологий и охраны недр СССР, Геологический словарь, Том 2 [M]. Государственное научно - техническое издательство литературы по геологий и охране недр. Москва, 1973,448
- [3] Sillitoe R H. Geology of the Los Pelambres porphyry copper deposit Chile[J]. Economic Geology, 1973, 68 (1):1-10.
- [4] Рунлювист Л В. Использование закономерностей разнотия минеральных образований во времен металлогенических исследованиях [J]. Записки Всесоюзного Минерал. Общ,1982:1.
- [5] Sillitoe R H, Bonham H F J. Sediment-hosted gold deposit: Distal products of magmatic-hydrothermal systems [J]. Geology, 1990, 18(2):157-161.
- [6] Sillitoe R H. Gold Metallogeny of Chile-an Introduction[J]. Economic Geology, 1991, 86 (6): 1187-1205.
- [7] Jones B K. Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1992, 43(2):127-155.
- [8] 戚建中.苏联远东火山岩地区的金-银成矿特点[J].国外火山地质,1990(4):1-24.
- [9] 戚建中,黄民智,秦有余,等.断裂网络与金成矿体系[M].南京:江苏科学技术出版社,1998.
- [10] 刘家远,沈纪利.江西钨的成矿岩浆体系[J].长春地质学院学报,1982(1):82-92.
- [11] 陈福珍,王传松.江西钨的成矿岩浆体系的判别[J].地球与环境,1983(6):54-56.
- [12] 甄维藩.高家店岩体及其成矿体系[J].地质科技参考,1990(1):30-36.
- [13] Щарапов В Н. Развитие Эндогенных Флюидных Рудообразующих Систем[J]. Новосибирск НАУКА, 1992:47-48.
- [14] 尉成臣,赵维峰译.加拿大地盾麻粒岩区的含金铁建造:一个太古代的深部金成矿体系[J].世界地质,1994,13(2):31-36.
- [15] Болтыров В Б. 王德荫.与深断裂有关的近断裂变质作用及其成矿体系[J].成都理工学院学报,1994,21(2):1-8.
- [16] 杨子江.江西银山火山一次火山一斑岩成矿体系稀土元素地球化学[J].矿产勘查,1994(5):257-265.
- [17] 傅建平.黔东南多金属成矿体系及其金矿的成矿预测[J].贵州地质,1994(2):141-145.
- [18] 叶德隆,叶松,王群,等.德兴式斑岩型铜矿床的构造一岩浆一成矿体系[J].地球科学,1997,22(3):252-256.
- [19] 戚建中,刘红樱.中国东南部富金斑岩成矿体系的结构与定位——金矿预测新思路[J].矿物岩石地球化学通报,2000,19(4):375-377.
- [20] 成都地质学院地质力学研究室.四川省构造体系图说明书(1:200万)[R].成都:成都地质学院,1976.
- [21] 成都地质学院地质力学研究室.四川省内生金属矿产分布规律图说明书(1:200万)[R].成都:成都地质学院,1976.
- [22] 周济元,徐章.川滇南北构造带及钒钛磁铁矿分布规律的初步探讨[M].北京:地质出版社,1981.
- [23] 李四光.地质力学概论[M].北京:科学出版社,1971.
- [24] 周济元.矿田地质力学(上册)[R].成都:成都地质学院,1985.
- [25] 周济元,余祖成.浙江建德铜矿床特征及矿液运移理论的研究[J].成都地质学院学报,1983(3):1-22.
- [26] 周济元,黄继钧,余祖成.浙江省建德铜矿控矿特征、矿液运移及找矿远景的研究[J].矿物岩石,1988,8(3):1-76.
- [27] 周济元,崔炳芳,陈宏明,等.赣南红山一锡坑迳地区铜锡矿地质及预测[M].北京:地质出版社,2000.
- [28] 周济元,崔炳芳,肖惠良,等.中国新疆库鲁克塔格一星星峡地区金、银和铜矿地质及预测[M].北京:地质出版社,2008.
- [29] 周济元,肖惠良.成矿结构体系及其钨矿找矿意义[J].资源调查与环境,2006,27(2):110-119.
- [30] 王登红,陈毓川,朱裕生,等.以矿床成矿系列构筑中国成矿体系及其运用[J].矿床地质,2006,25(Z):43-46.
- [31] 郭文魁.金属矿床地质的发展[J].矿床地质,1991,10(1):1-9.
- [32] Weng W H. Position of arsenic minerals in the metallogenetic series[J]. Acta Geological Sinica, 1926, 5(1): 61-64.
- [33] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣.初论矿床的成矿系列问题[J].中国地质科学院院报,1979(1):32-58.
- [34] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等.再论矿床的成矿系列问题——兼论中生代某些矿床的成矿系列问题[J].地质论评,1983,29(2):127-139.
- [35] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等.矿床的成矿系列问题[R].

- 北京:中国地质科学院,1991.
- [36] 翟裕生.成矿系列研究问题[J].现代地质,1992,6(3): 301-308.
- [37] 陈毓川,裴荣富,宋天锐,等.中国矿床成矿系列初论[M].北京:地质出版社,1998.
- [38] 陈毓川,徐钰,王登红.关于中国大陆中生代成矿体系的探讨[C]//中国地质学会.世界华人地质科学讨论会论文摘要集,1999.
- [39] 陈毓川.中国成矿体系与区域成矿评价[M].北京:地质出版社,2007.
- [40] 周济元,崔炳芳,陈世忠.成矿体系与成矿预测[C]//纪念李四光诞辰 120 周年暨李四光地质科学奖成立 20 周年学术研讨会论文集,2009.
- [41] 周济元.成矿体系、成矿预测、工程验证与突破[C]//第二届金属矿山成矿理论与深部找矿新技术研讨会论文集,2013.
- [42] 肖惠良,陈国栋,班宜忠,等.论南岭东段钨多金属矿找矿方向[J].资源调查与环境,2006,27(2):85-93.
- [43] 肖惠良,陈乐柱,吴涵宇,等.广东始兴南山钨钼多金属矿床的发现及其意义[J].高校地质学报,2008,14(4): 558-564.
- [44] 肖惠良,陈乐柱,鲍晓明,等.广东始兴良源铌钽铍钨多金属矿床的发现及其意义[J].资源调查与环境,2012, 33(4):229-237.
- [45] 陈毓川.当代矿产资源勘查评价的理论与方法[M].北京:地震出版社,1999:19-25.
- [46] 毕伏科,肖文暹,阎同生.成矿系列的缺位问题及其在成矿预测中的应用[J].矿床地质,2006,25(6): 735-742.

New progress in research and application of metallogenic system

ZHOU Ji-yuan, CUI Bing-fang

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: In the course of exploring metallogenic regularities and prospecting deposits, a concept Metallogenic System was proposed through studying magmatic hydrothermal mineralization, metallogenic structural system and metallogenic series, etc. This concept has been endowed with different definitions and used for prospecting practice, and a large amount of achievement has been made. But there has been less investigation on when, where and how the metallogenic system started, resulting in existence of some controversies. This paper proposed a new concept of metallogenic system based on studying and summarizing magmatic hydrothermal mineralization to magmatic hydrothermal metallogenic system, metallogenic structural system to metallogenic system and mineralization series. The definition for the metallogenic system reveals its new features. Finally, this study also made prediction for mineralization, assessed potential of mineral resources, and summarized the latest results and new progress, based on faulting network-metallogenic system, metallogenic structure system, and metallogenic system absence. Therefore, this study will have some reference for future study of mineral exploration.

Key words: metallogenic system; metallogenic prognosis; fracture network; metallogenic structural system; metallogenic series absence; new progress