

# 成矿系列预测的基本原则及特点<sup>①</sup>

王世称 陈永清

(长春地质学院)

**提 要** 在自然界,矿床往往呈系列产出。文章阐述了以成矿系列理论为前提,运用综合信息进行成矿预测的基本原则,提出了矿化系列的概念及通过矿化系列的研究实现成矿系列预测的设想。据成矿作用和成矿环境,将成矿系列划分为四类、八亚类,并对不同成矿系列的元素成矿特点及各成矿系列之间的关系进行了初步探讨。据控矿因素,将矿化系列划分为四类,指出叠加矿化系列是成矿系列预测的目标。

**关键词** 成矿系列 矿化系列 综合信息

在成矿系列思想指导下,运用综合信息矿产预测的基本原理和方法进行矿产的成矿系列预测是资源预测理论和方法日臻成熟的一个标志。

## 1 成矿系列和矿化系列的基本概念

七十年代末(1978),我国著名地质学家程裕淇教授指出,有必要将一些生成条件虽有所不同而在成因上有相互联系的矿床类型分别纳入几个共同的类型组,以表达其形成过程的内在联系<sup>[1]</sup>。此后,程裕淇、陈毓川、赵一鸣等(1979、1983)系统论述了成矿系列的基本概念,并对不同地质环境下形成的各种矿产进行了系统地系列划分。所谓成矿系列系指具有统一成矿过程,时空上具有伴生特点,成因上具有内在联系的一组矿床类型或类型组合<sup>[2,3]</sup>。

地质成矿作用,在形成系列矿床的同时,往往伴随有各种有用元素的自然浓集,即形成广义的矿产资源(Mineral Endowment)。它包括有工业价值的矿床和在目前经济、技术条件下不具备工业开采价值的矿产资源体。矿床赋存于矿产资源体中,二者的界限是一条动态边界<sup>[4]</sup>;而矿产资源体又赋存于特定的地质体中,二者的界限是恒定的,不受经济和技术因素的制约。既然矿床和矿产资源体是同一成矿作用下的产物,向在空间上存在一种包含与被包含的关系,并在一定的经济、技术条件下可以互相转换,那么,矿产资源和矿床一样同样具有系列性。我们称矿产资源系列为矿化系列。因此,矿化系列系指在某一成矿作用下,形成于一定地质环境中的所有有益元素的聚集地段。故矿化系列包含成矿系列。在空间分布上,前者比后者更广泛;在地质特征上,前者比后者更客观,更全面、更具体地反映了成矿作用的特点。我们正是通过对

<sup>①</sup> 收稿日期:1993. 11. 2 修改:1994. 5. 5

矿化系列规律的研究达到成矿系列预测之目的的。

2 成矿系列和矿化系列的基本类型

地质成矿作用可划分为:变质成矿作用、沉积成矿作用、火山成矿作用和岩浆侵入成矿作用。上述成矿作用,在同一地区,表现在物质成份上,随时间具有演化、继承的特点;在空间上具有叠加分布的特征;各种成矿作用是有机关联的。因此,成矿系列在时空上亦必有演化继承、叠加分布规律。根据这一思想,结合成矿系列产出的地质环境,将成矿系列划分为四个基本类型、八个亚类型(表 1)。

表 1 成矿系列基本类型  
Table 1 Basic types of ore-forming series

| 类          | 亚 类                | 矿 产                              |
|------------|--------------------|----------------------------------|
| I:变质成矿系列   | I a:变质同生成矿系列       | Fe、P、Mg、B、Mn                     |
|            | I b:变质后生成矿系列       | Au、Ag、Pb、Zn、Cu                   |
| II:沉积成矿系列  | II a:沉积同生成矿系列      | Fe、Mn、P、Al、煤                     |
|            | II b:沉积后生成矿系列      | Pb、Zn、Au                         |
| III:火山成矿系列 | III a:陆相火山成矿系列     | 金刚石 Fe、Cu、Au、Ag、Pb、Zn            |
|            | III b:海相火山成矿系列     | Cu、P、Zn、S                        |
| IV:侵入成矿系列  | IV a:基性、超基性侵入岩成矿系列 | Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Pt                |
|            | IV b:中、酸性侵入岩成矿系列   | Cu、Pb、Zn、Au、Ag、W、Mo、Sn、Nb、Ta、REE |

上述成矿系列各有其独特的元素成矿特点。变质同生成矿系列和沉积同生成矿系列以常量元素成矿为特点,如 Fe、Mn、Al、B、P 等。它们在地壳中具有较高丰度,同生成矿作用即可形成工业矿床。变质后生成矿系列和沉积后生成矿系列以微量元素成矿为特点,如 Pb、Zn、Cu、Ag、Au 等。它们在地壳中丰度较低,必须多次成矿作用叠加,才能形成工业矿床。海相火山岩成矿系列位于槽区,主要形成金属硫化物矿床;而陆相火山岩成矿系列则位于台区,以金刚石成矿为其特点。此外,还形成 Ag、Au、Pb、Zn、Cu 等矿产。基性超基性侵入岩成矿系列通常沿槽台边界的深断裂分布,形成所谓的正岩浆矿床,以 Pt 族、Fe 族元素成矿为其特点,中酸性侵入岩成矿系列成矿具有多样性特点,中性侵入岩系往往形成 Fe、Cu 成矿系列,中酸性侵入岩系通常形成 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au 成矿系列,酸性侵入岩系形成 W、Sn 成矿系列,酸偏碱性侵入岩系多形成 Nb、Ta、U、Th 等稀土、稀有、放射性金属成矿系列。

据矿化系列和成矿系列的关系,二者应具有——对应性,即有什么类型的成矿系列,就应该存在其相应的矿化系列。事实上,矿化系列是一个更复杂的问题,就我们目前的资料水平,还不具备按成矿系列系统地划分矿化系列类型的条件。但从成矿预测的目的出发,据矿化系列的控制因素及其产出形态,我们将矿化系列划分为以下四种基本类型。

I **层控矿化系列** 矿化受某一时代的地层或岩性控制,具有一种或几种元素地球化学场高的特点,地球化学异常呈面型分布。通常代表同生成矿系列的矿化系列特征。

II **裂控矿化系列** 矿化受某一方向的断裂控制,其地球化学异常呈线型分布。通常代表后生成矿系列的矿化系列特征。

III **岩(侵入体)控矿化系列** 矿化受侵入体控制,围绕岩体具有成矿元素的环型地球化学异常(或异常组合),自岩体向外,有时亦可见组分的有序分带现象(W、Mo→Cu、Pb、Zn→Au、Ag、Sb)。

IV **叠加矿化系列** 往往是受矿体(或其集合)控制的一种矿化系列,实际上反映了成矿系列的特征。其主要特征是在成矿元素的面型或环型异常内部,发育成矿元素的组合异常,而主成矿元素异常具有清晰的浓度分带,组合异常的组分分带不明显。

上述分类,是我们从成矿预测的角度研究矿化系列的一种尝试,有待进一步完善。事实上,对多期、多阶段成矿作用形成的成矿系列来说,成矿系列与其矿化系列尽管在空间上密切伴生,但在形成时间上往往具有不一致性。如与中酸性侵入体有关的矿化系列的形成可能贯穿其成岩成矿的全过程,而其成矿系列的形成则只限制在主成矿期(或主成矿阶段)。从这个意义上说,单一矿化系列仅反映了成矿系列形成的一种有利地质背景(地层、岩体、构造等)。叠加矿化系列才是成矿系列预测的真正目标。

### 3 各种类型成矿系列的关系探讨

在上述成矿系列中,变质成矿系列是其它成矿系列的基础,亦是重要的矿源。因此,变质成矿系列研究是成矿系列研究的首要问题。

变质岩系是一种极为复杂的岩系,其原岩是由构成早期地壳的火山岩、沉积岩、侵入岩及其过渡类型的岩石组成,并在漫长的地壳演化过程中经历了多期变质变形。但从地球化学的角度而言,组成变质岩系的造岩元素和成矿元素的分布及其成矿则具有明显的规律性。元素的丰度制约着成矿系列的类型。常量元素(Fe、Mn、B、P、等)通过同生成矿作用即可形成矿床,如BIF铁矿,辽南硼矿,江苏海州磷矿等,且主要表现以层控为主。微量元素(Au、Ag、Cu、Pb、Zn等),由于其地壳丰度低,必须多次成矿作用叠加方能形成有工业价值的矿床(通常为后生成矿系列)。它们的空间分布,区域上具有层控性(如我国金矿,70%分布于变质岩系),而具体就位则受控于某一时代的岩体和断裂。成矿的继承演化是形成系列矿产的重要因素之一。在一定的地质构造单元内,总是以发育某几种矿产的矿床为特征,构成以成矿元素命名的所谓成矿省(或矿化集中区)。如鲁西地区,内生矿产以发育Fe、Au、Cu元素的成矿为特征,且分属于不同的成矿系列(表2)。表2表明,变质成矿系列分布于出露基底,火山和侵入成矿系列分布于隐伏基底,而断隐盆地内部(断陷盆地与隐伏基底的分布是由重力场圈定的,二者通常以大于上延10km的重磁吻合断裂为界)迄今没发现矿化。由此可见,结晶基底的分布控制了上述成矿系列的分布,成矿在空间上具有继承性。上述成矿系列形成于不同的地质时代,对铁、金矿产来说,成矿在时间上亦具有继承性。基底构造样式制约后期控矿构造的发展演化。鲁西地区基底

构造线呈北西向展布,中生代火山岩盆地,岩浆岩带、金矿化带亦呈北西向分布<sup>①</sup>。

表 2 鲁西地区内生矿产成矿系列类型

Table 2 The types of ore-forming series of endogenic deposits in Western Shandong province

| 类 型    | 分 布                     | 成矿时代  | 矿 例                              |
|--------|-------------------------|-------|----------------------------------|
| 变质成矿系列 | 出露基底(泰山群)               | 早前寒武纪 | 柳杭绿岩金矿<br>韩旺 BIF 铁矿              |
| 火山成矿系列 | 隐伏基底(下部为泰山群,上部为中生代火山岩系) | 中生代   | 王家庄金—铜矿                          |
| 侵入成矿系列 | 隐伏基底(下部为泰山群,上部为古生代沉积岩系) | 中生代   | 归来庄金矿<br>铜井金—铜矿<br>莱芜矽卡岩型铁(伴生金)矿 |

综上所述,各成矿系列之间具有如下关系:(1)成矿系列在时空分布上,物质演化上具明显的继承性,古老变质岩系可能是上述成矿系列的矿源;(2)基底构造样式制约后期控矿构造的发展演化,即控矿构造亦具有继承性。

4 成矿系列预测的基本原则

综合信息成矿系列预测是在成矿系列理论指导下,以地质体(或矿产资源体)为单元,通过对地质、地球物理、地球化学、遥感等单一成矿信息的综合提取;然后,通过信息筛选、信息关联和信息转换等一系列程序;最终建立综合信息成矿系列找矿模型及其相应的矿化系列找矿模型;通过已知成矿系列的矿化系列找矿模型,实现对未知矿化系列的成矿系列的定量定位预测。

成矿系列预测应遵循如下原则:

(1)地质背景研究与地质异常研究相结合

赵鹏大等(1991)认为:“地质异常是在结构、构造或成因序次上与周围环境有着明显差异的地质体或地质体组合”<sup>[5]</sup>。并指出“地质异常区别于一般的控矿地质因素或找矿标志,它具有一定的空间范围和时间界限。地质异常是可能产生特殊类型矿床或产出前所未有的新类型或新规模矿床的必要条件”<sup>[5]</sup>。因而从成矿预测的角度,研究成矿地质背景与地质异常特征及其相互关系具有重要意义。

地质异常具有极其丰富的内容,它涉及到地球科学的各个领域。从大的方面,地质异常可划分为两大类:天体作用引起的地质异常,和地球本身演化产生的地质异常。前者如星体作用

① 山东省鲁西地区综合信息金成矿系列预测报告,1993

引起的全球性白垩/第三系界面粘土出现的 Ir 异常及 C、O 同位素组成的剧变<sup>①</sup>。陨石作用引起的局部地质异常,如肖德贝里超大型铜镍硫化物矿床。后者如不同等级构造地质单元的接合面(板块边缘,槽、台边缘,盆地边缘,岩体边缘等),上述部位通常是成矿的远景地段(如环太平洋成矿带)。总之,地质异常总是伴有物化探异常,物化探异常是对地质异常的物理性质和化学性质的反映。因此,我们可以通过物化探异常去定量地刻画、标度地质异常

异常总是相对背景而言的,异常具有等级性(或层次性)。对具体的地质异常而言,它具有一定的空间范围和时间界限。超出其定义的时间域和空间域,异常将变为背景。那么如何定义地质背景呢?在鲁西金成矿系列预测中,我们根据时序划分出两个构造组合:基底构造组合和盖层构造组合。根据不同方向断裂之间的切割关系,推断基底构造形成的时序为(从老到新):EW→NE→SN→NW。在该构造组合中,EW 向断裂不仅控制了层理的东西向展布趋势,而且还控制了 Au、Cr、Ni、Co、V 等元素的高背景带亦呈东西向分布,它可能代表了地壳形成早期与地层走向平行的一种构造。NW 向断裂是与片理平行的构造,它不仅控制了绿岩带的空间展布,而且制约着后期构造的发展、演化。从金成矿系列预测的角度,我们认为该构造组合仍属地质背景的范畴,它可能为其后金成矿系列的形成奠定了基础,但并没形成工业矿化。在盖层构造组合中,其时序为(从老到新):NE→SN→NW→EW。在该构造组合中,NW 向断裂不仅控制了中生代火山岩、侵入岩的分布,而且控制了整个金成矿带呈 NW 向展布。EW 向断裂与 NW 向断裂的交会部位是赋金岩系的就位域,同时也是金矿田的所在部位。我们认为,该构造组合属于地质异常的范畴。尤其是控制矿带展布,和金矿就位的新 NW 向和新 EW 向断裂更具典型性。

事实上,新 NW 向和新 EW 向构造是在基底 NW 向和 EW 向构造的基础上,继承、发展、多次复活的构造,金的工业矿化亦是在基底变质岩系(绿岩带:雁翎关组、山草峪组)的基础上形成的。显然,地质异常与地质背景的关系是一种随时间继承、演化的物质关系。

### (2) 类比方法与求异理论相结合

“相似-类比理论”指导下的成矿系列预测,首先建立某一类矿床的成矿模式,其中包括地质模式,地球物理模式,地球化学模式等。在此基础上,运用统计预测方法建立综合信息找矿模型,通过找矿模型实现成矿预测。虽然找矿模型比成矿模式在成矿预测中更具有实用性,但也只能预测与之类型相同和规模相似或更小的矿床,而不可能预测尚未发现的新类型矿床或迄今没曾发现过的规模巨大的矿床。模型找矿强调矿床之间的共性,即相似的成矿地质环境。实际上,在同一地质环境,同一矿种在不同的部位可形成规模不等的矿产资源体。金就如此。在同一矿化集中区,金矿点的个数远大于金矿床的个数(所谓的星一月之比),大型金矿和超大型金矿则更为稀少,而其资源量绝大部分集中在大型和超大型矿床上。这表明,大型、超大型矿床除具备一般矿床的成矿条件外,还有其自己得天独厚的有利成矿因素。因此,寻找大型、超大型矿床,不能单纯根据“相似-类比”理论,必须在综合信息找矿模型的基础上应用“求异”理论(即地质异常分析理论)。

### (3) 宏观分析与实际观察相结合

<sup>①</sup> 涂光炽:八十年代固体地球科学若干新进展.矿物岩石地球化学通讯,1990,(2)

所有地质测量均属于实际观察的范畴。我们在鲁西金成矿系列预测中采用的 1:20 万地质图就是这种野外实际观察的结果,这种图件的编制缺乏宏观分析的指导。野外测点是不连续的,且是一种平面二维地质测量,无法反映深部地质(或成矿)信息。我们以实际观测的地质图为基础,应用遥感、航磁和重力等信息进行综合分析,从而更全面、客观地反映了地质体及其组合的三维分布规律,实现立体成矿预测。

#### (4) 矿化系列研究与成矿系列研究相结合

成矿系列找矿模型反映了已知矿床组合的控矿地质因素和找矿标志,是一种直接找矿信息。而通常在成矿预测中采用的各种资料(如水系沉积物、航磁和重力等)水平相对较低,反映了矿化系列特征。必须在已知成矿区,通过信息关联和转换,建立成矿系列找矿模型和矿化系列找矿模型的对应关系,通过已知成矿系列的矿化系列找矿模型预测未知成矿系列。

#### (5) 从地质演化的角度研究物化探异常

研究表明,矿异常往往是多次地质成矿作用叠加的产物。传统的化探方法圈定的金异常,绝大多数是由地质背景引起的非矿异常。而那些异常面积大,其强度低的金异常仅仅反映了金的有利成矿背景(如太古宙绿岩带)。那些位于大的水系中的具有一定异常度强度的金异常往往是砂金远景区。在鲁西地区,与金成矿有关的岩体绝大多数发育金的环形异常,绿岩带(雁翎关组、山草峪组)发育金的面型异常,它们仅反映了一种成矿的有利地质背景。在此基础上,具有金的组合元素异常叠加分布的区域,才是矿异常。

## 5 综合信息成矿系列预测的特点

以往的矿产资源预测,是单类型、单矿种的资源预测。这种预测实际上违背矿床呈系列产出,矿产亦呈系列产出的自然规律。而成矿系列预测,正是将“相似-类比”理论与“求异”原理相结合,用整体性观点,联系性观点,对相似地质环境的矿床和矿产进行系列预测,从而提高了成矿预测的经济实效。

### 参考文献

- 1 程裕淇,赵一鸣,陆松年. 中国几组主要铁矿类型. 地质学报,1978,(4):253~268
- 2 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报,1979,(1):33~58
- 3 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,宋天锐. 再论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报,1983,(6):1~33
- 4 DeVerle P. Harris, Frederik P. Agterberg. The Appraisal of Mineral Resources. Economic Geology, Seventy—Fifth Anniversary Volume(1905~1980), 1981:897~938
- 5 赵鹏大,池顺都. 初论地质异常. 地球科学,1991,16(3):241~248

## THE BASIC RULES AND CHARACTERISTICS OF ORE—FORMING SERIES PROGNOSIS

*Wang shicheng      Chen Yong qing*

*(Changchun university of Earth Science, Changchun 130026)*

### Abstract

Mineral deposits generally occur naturally in series. This paper elucidates the basic rules to predict mineral deposits using comprehensive information under the guidance of ore—forming series theory, and presents the concept of mineralized series as well as the envisage to realize the prediction of ore—forming series through research into mineralized series. Ore—forming series are classified into four types eight subtypes on the basis of their mineralization process and mineralization environment, probing into the characteristics of ore—forming elements for different ore—forming series as well as the relations among themselves. Mineralized series are divided into four types according to their controlling factors, pointing out that overlapped mineralized series in the target prospecting for ore—forming series.